

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка автоматизированной системы блока низкотемпературной сепарации установки комплексной подготовки газа.</b>

УДК 004.896:622.767.63-974:622.279.8.002.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т41	Голованов Александр Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Аврамчук В.С.	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Суханов А.В.	К.Х.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Воронин А.В.	К.Т.Н.		
Руководитель ОАР	Леонов С.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения.
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<b>Общекультурные компетенции</b>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Воронин А.В.

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
З-8Т41	Голованову Александру Николаевичу

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.03.2019 №2344/с
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2019
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	<p>Объект исследования – блок НТС установки комплексной подготовки газа (УКПГ)</p> <p>Цель работы: разработка автоматизированной системы управления блока низкотемпературной сепарации газа с использованием ПЛК, на основе выбранной SCADA-системы.</p> <p>Режим работы: непрерывный.</p>
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Создание структуры системы, подбор датчиков, контроллеров и исполнительных устройств, проектирование алгоритмов управления для УСПГ
<b>Перечень графического материала</b>	1. Структурная и функциональная схемы автоматизации 2. Схема информационных потоков и внешних проводок 3. Экранная форма автоматизированной системы
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	26.03.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Аврамчук В.С.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-8Т41	Голованов Александр Николаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
З-8Т41	Голованову Александру Николаевичу

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Размер оклада руководителя – 29568 руб.; Размер оклада младшего научного сотрудника – 15470 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка отчислений на социальные нужды составляет 30% для образовательных и научных учреждений

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка экономической эффективности проекта	3.1 Определение срока окупаемости инвестиций
---	--

**Перечень графического материала:**

1. Линейный график работы
---------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>01.03.2019</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-8Т41	Голованов Александр Николаевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
З-8Т41	Голованову Александру Николаевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><b>Объект исследования</b> – установка комплексной подготовки газа.</p> <p><b>Метод исследования</b> – анализ и синтез.</p> <p><b>Рабочая зона</b> – компьютерный класс, операторная и площадка УКПГ</p> <p><b>Область применения</b> – газовая промышленность.</p>
--	--

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность:</b></p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ).</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p>1.1 При разработке научного исследования (компьютерный класс) вероятно воздействие следующих вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- микроклиматические условия в помещении [СанПиН 2.2.4.548-96], температура воздуха, выделение в воздух рабочей зоны ряда химических веществ ГН 2.2.5.3532-2018, влажность воздуха, аэроионный состав воздуха [СанПиН 2.2.4.1294-03], отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны [СНиП 23-05-95], повышенная яркость света;</li> <li>- психофизические факторы [ГОСТ 12.0.003-2015] (зрительное напряжение, монотонность трудового процесса, нервно-эмоциональные перегрузки);</li> <li>- электробезопасность на рабочем месте [ГОСТ 12.1.002-84, ГОСТ 12.4.124-83] (напряжение в электрической цепи, замыкание, статическое электричество, электромагнитные излучения, напряженность электрического поля).</li> </ul> <p>1.2 При эксплуатации установки комплексной подготовки газа (технологическая зона) вероятно воздействие следующих вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- производственный шум [СН 2.2.4/2.1.8.562-96];</li> <li>- вибрация [СН 2.2.4/2.1.8.566-96];</li> <li>- действие вредных веществ на организм (природный газ, газовый конденсат, метанол, топливный газ, турбинное масло) [ГОСТ 12.1.007-76];</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного</li> </ul>
--	--

	<p>оборудования [ГОСТ 12.2.009-99].</p> <p>Для обеспечения безопасности при работе на установке комплексной подготовки газа предлагаются следующие средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- коллективная защита (шумоизолирующие конструкции);</li> <li>- индивидуальные средства защиты (костюм, ботинки, перчатки, каска, очки защитные, маска).</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>2.1 Анализ негативного воздействия на окружающую среду работы установки комплексной подготовки газа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- влияние на атмосферу (выбросы оксидов и диоксидов азота, сероводорода и оксида углерода, предельные углеводороды, метанол);</li> <li>- влияние на литосферу (отработанные трансформаторные масла, утилизация макулатуры и люминесцентных ламп).</li> </ul> <p>2.2 Анализ негативного воздействия на окружающую среду при работе за ПЭВМ.</p> <p>2.3 Анализ решений по обеспечению экологической безопасности.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3.1. Возможные ЧС при эксплуатации установки комплексной подготовки газа – производственные аварии (пожар, взрыв).</p> <p>3.2. Анализ действий работников при возникновении ЧС.</p> <p>3.3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>4.1 Анализ законодательно-правовой базы в области обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).</li> </ul> <p>4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.</p> <p>4.3 СанПиН 2.2.4.548-96, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, СанПиН 2.2.4.1294-03, СанПиН 2.2.4.3359-16, СанПиН 2.6.1.3287-15, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, СанПиН 2.2.4/2.1.8.1383-03, ГОСТ 12.1.002-04, ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.0.003-2015, ГОСТ 12.4.124-83, Инструкция по охране труда при работе на ПК, СНиП 21-01-97.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.03.2018
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		26.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т41	Голованов Александр Николаевич		26.03.2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Уровень образования – бакалавриат  
 Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.05.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.03.2019	Литературный обзор	25
22.03.2019	Объект и методы исследования	15
25.04.2019	Экспериментальная часть	30
20.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2019	Социальная ответственность	15

#### СОСТАВИЛ:

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Аврамчук В.С.	к.т.н.		

#### СОГЛАСОВАНО:

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронин А.В.	к.т.н.		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 108 страницы машинного текста, 27 таблиц, 27 рисунков, 1 список использованных источников из 37 наименований. Объектом исследования является блок низкотемпературной сепарации газа.

Цель работы – повышение технико-экономических показателей за счет внедрения автоматизированной системы управления блока низкотемпературной сепарации газа с использованием ПЛК, на основе выбранной SCADA-системы.

В выпускной квалификационной работе была разработана: функциональная схема автоматизации, структурная схема, схема информационных потоков, схема соединения внешних проводов.

Помимо этого в данной работе подобрано современное оборудование, которое имеет высокую точность измерения и способность работать с необходимыми технологическими параметрами.

Далее представлен перечень ключевых слов: низкотемпературная сепарация газа, автоматизированная система управления, датчики, функциональная схема, ПИД – регулятор, программируемый логический контроллер, OPC-сервер. SCADA - система, алгоритм.

Для выполнения работы использовались программные продукты Microsoft Visio 2013, Matlab R2015a, Siemens TIA Portal V13.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 компании Microsoft

## **Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Автоматизированная система** – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса.

**Интерфейс** – это совокупность средств и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой.

**Мнемосхема** – это представление технологической схемы в упрощенном виде на экране АРМ.

**Технологический процесс** – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ.

**Архитектура автоматизированной системы** – набор значимых решений по организации системы ПО, набор структурных элементов и их интерфейсов, при помощи которых komponуется АС.

**SCADA** – инструментальная программа для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных

**Программируемый логический контроллер** – специализированное компьютеризированное устройство, используемое для автоматизации технологических процессов.

**ОРС-сервер** – это программный комплекс, предназначенный для автоматизированного сбора технологических данных с объектов и предоставления этих данных системам диспетчеризации по протоколам ОРС.

**Диспетчерский пункт** – центр системы диспетчерского управления, где сосредоточивается информация о состоянии производства.

**Автоматизированная система управления технологическим процессом** – комплекс программных и технических средств, предназначенный

для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях.

В работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.

2. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

3. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

5. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-2003. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

7. СанПиН 2.2.4.1294-2003. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений.

## Оглавление

Введение .....	14
1 Обзор литературы.....	16
1.1 Задачи и цели создания АСУ ТП.....	16
1.2 Назначение системы .....	16
1.3 Требования к техническому обеспечению.....	17
1.4 Требования к функциям.....	18
1.5 Требования к метрологическому обеспечению .....	20
1.6 Требования к программному и информационному обеспечению .....	20
1.7 Требования к математическому обеспечению .....	21
2 Объект и методы проектирования .....	22
3 Расчеты и аналитика .....	23
3.1 Разработка структурной схемы АС.....	23
3.2 Функциональная схема автоматизации .....	24
3.3 Разработка схемы информационных потоков.....	26
3.4 Выбор программно-технических средств АС .....	29
3.4.1 Выбор средств реализации .....	29
3.4.2 Выбор контроллерного оборудования .....	29
3.4.3 Выбор датчиков.....	33
3.4.4 Выбор сигнализаторов уровня.....	41
3.4.5 Выбор исполнительных механизмов .....	44
3.5 Разработка схемы внешних проводок.....	54
3.6 Выбор алгоритмов управления АС (НТС) .....	54
3.7 Экранные формы АС НТС.....	63
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	65
4.1 Организация и планирование работ.....	65
4.1.1 Продолжительность этапов работ.....	66
4.1.2 Расчет накопления готовности проекта .....	70
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	71
4.2.1 Расчет затрат на материалы .....	72

4.2.2 Расчет заработной платы.....	72
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	73
4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	74
4.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	75
4.2.6 Расчет прочих расходов.....	76
4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки.....	76
4.2.8 Расчет прибыли.....	77
4.2.9 Расчет НДС.....	77
4.2.10 Цена разработки НИР.....	77
4.3 Оценка экономической эффективности проекта.....	78
5 Социальная ответственность.....	79
5.1 Производственная безопасность.....	79
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов рабочей зоны (компьютерный класс).....	80
5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов рабочей зоны (операторная, площадка УКПГ).....	87
5.2 Экологическая безопасность.....	92
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	93
5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	95
Заключение.....	97
Список используемых источников.....	98
Приложение А.....	102
Приложение Б.....	103
Приложение В.....	104
Приложение Г.....	105
Приложение Д.....	106
Приложение Е.....	107
Приложение Ж.....	108

## **Введение**

**Автоматизация** – направление научно-технического прогресса, применяющее саморегулирующие технические средства, систем управления и экономико-математических методов, которые освобождают человека от участия в процессах преобразования, получения, использования и передачи использования энергии, информации или материалов, уменьшающих степень этого участия или трудоёмкость операций. Автоматизация производства не возможна без информации о состоянии автоматизируемых объектов. Эта информация поступает в систему автоматического управления с помощью специальных технических средств - контрольно- измерительных приборов (КИП).

С совершенствованием ЭВМ, развитием передачи сигналов различной природы на различные расстояния – стало возможным автоматизировать технологический процесс, при этом все управление свелось к нескольким операторам, которые обеспечивают правильность работы системы управления с центра управления – операторской. Наивысшим пиком развития систем управления процессами является автоматическая система управления технологическим процессом – АСУ ТП. Бесперебойная работа АСУ ТП позволяет осуществлять работу установки в автономном режиме, при этом работа операторов сведена к минимуму – контролю работы АСУ ТП, регистрации производственных данных и наладке запуска и остановки производственной установки в определенное время.

**Целью** данной работы является повышение технико-экономической эффективности автоматизированной системы блока низкотемпературной сепарации установки комплексной подготовки газа (НТС УКПГ) с использованием контроллерного оборудования (ПЛК) и соответствующего программного обеспечения.

**Объектом исследования** является блок низкотемпературной сепарации установки комплексной подготовки газа

**Предметом исследования** являются система автоматизации технологического процесса, алгоритмы управления для УКПГ.

### **Практическая значимость результатов работы ВКР**

Автоматизированная система управления позволит увеличить качество подготавливаемого газа, повысить безопасность технологического процесса, а также снизить технико-экономических затраты на производстве.

## **1 Обзор литературы**

### **1.1 Задачи и цели создания АСУ ТП**

создается с целью:

- стабилизации параметров технологического процесса;
- увеличение объема производимой продукции;
- снижение технико-экономических затрат;
- увеличение качества подготавливаемого газа;
- повышения компетенции инженерно-технического персонала;
- повышение безопасности технологического процесса.

АСУ ТП реализуются следующие задачи:

- осуществление централизованного контроля и управления технологическим процессом НТС УКПГ;
- предупреждение и предотвращение аварийных ситуаций на производстве;
- повышение эффективности технологических процессов разделителя жидкостей.

### **1.2 Назначение системы**

АСУ ТП предназначена для:

- контроля состояния основного и вспомогательного технологического оборудования подготовки газа;
- контроля и управление в автоматическом и ручном режиме технологическими объектами автоматизации, входящих в систему;
- обеспечения системы аварийной остановки для контроля технологического процесса и аварийных блокировок/отключений;
- сбора и обработки данных о состоянии контроля технологических процессов;



- управления и регулирования технологических процессов в соответствии с заданиями, которые устанавливают операторы АСУ;
- вывода информации о технологических процессах на мнемосхемах на дисплей оператора АСУ в реальном времени, отображение численных значений параметров.[1]

### **1.3 Требования к техническому обеспечению**

Комплекс технических средств должен удовлетворять условиям эксплуатации. При этом внешние части используемого оборудования, которые под напряжением, должны быть защищены от случайных прикосновений и иметь заземление.

К техническим средствам автоматизации в общем случае предъявляются следующие требования:

- погрешность каналов измерения датчика не должна превышать 0.2%;
- при выборе приборов первичного контроля необходимо использовать датчики отечественных производителей;
- главное внимание уделяется показателям надежности, возможности замены приборов без отключения системы из технологического процесса, возможности управления процессом как по месту, так и дистанционно.

Выбор аппаратуры первичных средств автоматизации должен учитывать следующие факторы:

- наличие сертификата Госстандарта и Ростехнадзора России;
- минимизация в выборе заводов-изготовителей и поставщиков оборудования КИПиА;
- использование приборов с унифицированными выходными сигналами.

На установке НТС предполагается использовать первичные преобразователи со следующими характеристиками:

- дискретный выход – «сухой контакт»;
- аналоговый выход – 4..20 мА;
- термопреобразователи и термопары с номинальными техническими характеристиками ТСП100 и ХА;
- вид взрывозащиты – взрывобезопасное исполнение;
- для сбора информации и управлением исполнительными механизмами используется промышленный контроллер;
- первичные средства, не имеющие собственного питания, запитываются от общей сети АСУ ТП с использованием их в составе искрозащищенных барьеров;
- датчики и первичные преобразователи выбираются в климатическом исполнении – 45...+35°С.

#### **1.4 Требования к функциям**

АСУ ТП должна выполнять следующие функции:

##### *1. Информационные функции:*

1. сбор, обработка и хранение информации о параметрах технологического процесса;
2. графическое представление текущей и архивной информации на мониторе АРМ оператора УКПГ;
3. регистрация событий, связанных с контролируемым технологическим процессом и действиями оперативного персонала;
4. автоматический контроль компонентного состава газа посредством хроматографа;
5. ведение базы данных, формирование регламентных и отчетных документов, выполнение расчетных задач;

6. отслеживание состояния систем контроля загазованности и пожаротушения, положения исполнительных механизмов;
7. формирование аварийной и предупредительной сигнализации;
8. измерение расхода газа с многосуточной регистрацией;
9. взаимодействие локальных САУ между собой и АРМ оператора УКПГ, по интерфейсным каналам связи.

## *2. Управляющие функции:*

1. автоматическая реализация алгоритмов управления исполнительными механизмами;
2. дистанционное управление запорной арматурой и другими технологическими объектами с АРМ оператора в соответствии с режимом работы УКПГ;
3. автоматическое управление по защитам;
4. автоматическое включение аварийной вытяжной вентиляции;
5. поддержание заданного расхода газа в газлифтных скважинах.

## *3. Функции диагностирования:*

1. исправность цепей аналоговых датчиков по уровню входного аналогового сигнала, достоверности аналоговых параметров;
2. исправность исполнительных механизмов и их цепей управления по обратной связи (соленоиды управления кранами, контакты магнитных пускателей электроприводов оборудования и т. д.);
3. работоспособность процессорной платы, плат ввода/вывода и системной шины контроллера (контроль «зависания» программы) с сигнализацией отказов на верхнем уровне управления.

## 1.5 Требования к метрологическому обеспечению

Требования к метрологическому обеспечению работоспособности низкотемпературного сепаратора газа представляют собой комплекс обязательных и рекомендуемых к исполнению действий, направленных на обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение эффективности и качества работоспособности системы

Требуемые нормы погрешности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к погрешности измерительных каналов

№	Наименование измеряемого параметра	Норма погрешности (не более)
1	Температура	$\pm 0,2\%$
2	Давление	$\pm 0.10\%$
3	Уровень	$\pm 0,15\%$

## 1.6 Требования к программному и информационному обеспечению

Программное обеспечение АСУ ТП должно быть достаточным для реализации всех функций системы, выполняемых с применением средств вычислительной техники и иметь средства организации всех требуемых процессов обработки данных, позволяющие своевременно выполнять все автоматизированные функции во всех режимах функционирования АСУ ТП.

Программное обеспечение автоматизированной системы должно включать в себя[1]:

- системное программное обеспечение - операционные системы;
- инструментальное программное обеспечение;
- общее прикладное программное обеспечение;
- специальное прикладное программное обеспечение.

Программное и информационное обеспечение должно обеспечивать следующие функции:

- обработка и хранение текущих значений технологических переменных, поступающих в систему в результате опроса датчиков и первичной переработки информации;
- создание распределённой базы данных и возможность доступа к ней;
- отображение мнемосхем, которые представляют собой графическое изображение основного технологического оборудования, средств КИПиА, и отображают структуру алгоритмов управления и защиты, и их состояние;
- обмена информацией в рамках распределённой системы посредством базы данных, обеспечивающей доступ к данным с локальных элементов сети;
- возможность изменения параметров технологического процесса;
- создание унифицированной электронной документации, отчетов (рапортов, протоколов).

### **1.7 Требования к математическому обеспечению**

Математическое обеспечение АС должно представлять собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при создании и эксплуатации АС и позволять реализовывать различные компоненты АС средствами единого математического аппарата

## 2 Объект и методы проектирования

Продукцией УКПГ является осушенный природный газ, подготовленный с использованием технологии низкотемпературной сепарации, и смесь газового конденсата с водометанольной водой (далее – газовый конденсат).

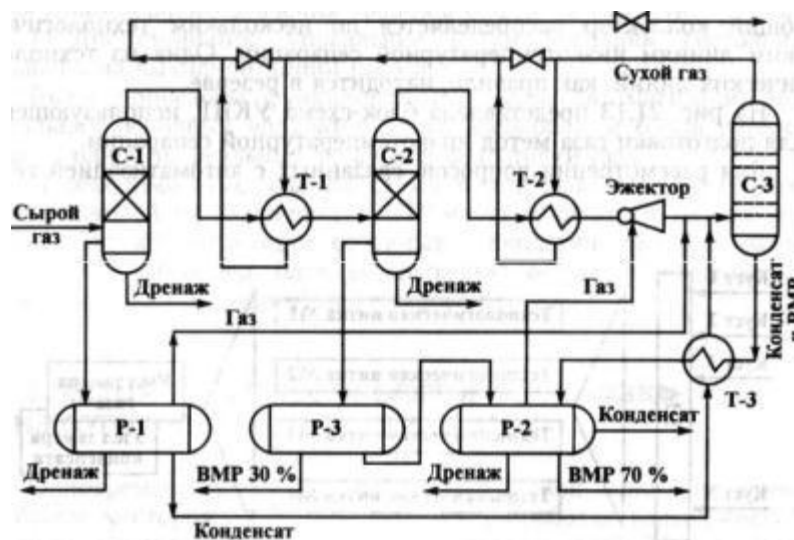


Рисунок 1. Технологическая схема НТС.

Сырой газ по технологической линии подается в сепаратор С-1 первой ступени. После этого газ проходит теплообменник Т-1, сепаратор второй ступени С-2, теплообменник Т-2, эжектор и низкотемпературный сепаратор С-3. Далее осушенный и охлажденный газ опять проходит теплообменники (Т-1 и Т-2) для охлаждения сырого газа и поступает в магистральный трубопровод.

Углеводородный конденсат и вода с растворенным в ней метанолом после сепаратора С-1 проходит разделительную емкость Р-1. Водометанольный раствор (1 %) из разделителя Р-1 отводится в дренаж, а конденсат после охлаждения в теплообменнике Т-3 впрыскивается в поток газа перед низкотемпературным сепаратором С-3. Охлаждение конденсата в Т-

Зосуществляется углеводородным конденсатом, образовавшимся в низкотемпературном сепараторе.

Углеводородный конденсати вода с частично растворенным метанолом из сепаратора С-2 поступает в разделительную ёмкость Р-3,откуда водометанольный раствор (ВМР30 %) подаётся на площадку трапов, а смесь конденсата и воды подаётся в разделительную ёмкость Р-2.

В разделительной ёмкости Р-2 происходит разделение конденсата и метального раствора (ВМР 70 %). Выделившийся в Р-2 газ направляется в эжектор.

### **3 Расчеты и аналитика**

#### **3.1 Разработка структурной схемы АС**

Структурная схема АС приведена в приложении Б.

В качестве объекта управления выступает блок низкотемпературной сепарации газа. В трехступенчатом сепараторе осуществляется замер уровня жидкости, давления, температуры, а в трубопроводах - давления и температуры на замерных нитках до теплообменников и после. Исполнительным устройством является насос с приводом от асинхронного двигателя и клапаны с электроприводом .

АСУ ТП строятся по трехуровневому принципу:

Нижний уровень (полевой) состоит из первичных датчиков: два датчика температуры, два датчика давления с индикацией и регистрацией, датчика уровня, два датчика расхода и исполнительных устройств (клапанов с электроприводом, задвижка).

Средний уровень (контроллерный) состоит из основного и резервного контроллеров.

Верхний (информационно-вычислительный) уровень состоит из коммутатора, а также компьютеров и серверов баз данных, объединенных в

локальную сеть Ethernet. На компьютерах диспетчера и операторов установлены операционная система Windows 7 и программное обеспечение-TIA Portal.

Операторская состоит из нескольких станций управления, которыми являются компьютеры оператора АСУ. Также в операторской расположен сервер БД. На экранах оператора АСУ отображаются технологические процессы и оперативное управление.

Для взаимодействия контроллера на нижнем уровне с полевыми датчиками и исполнительными устройствами используются каналы связи 4...20мА.

Контроллеры среднего уровня и коммутатор верхнего уровня взаимодействуют посредством локальной сети Ethernet. Также используя локальные сети Ethernet взаимодействуют между собой концентратор верхнего уровня и компьютеры оператора АСУ.

### **3.2 Функциональная схема автоматизации**

На функциональной схеме автоматизации отображаются основные технические решения, применяемые в процессе проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами. основное и вспомогательное оборудование вместе с встроенными в него регулирующими и запорными органами в данных системах является объектом управления.

Функциональная схема автоматизации является основным техническим документом, который определяет структуру и функциональные связи между технологическим процессом, приборами, средствами контроля и управления и отражает характер автоматизации технологических процессов[5].

Все элементы системы управления показаны как условные изображения, их объединяют в единую систему линиями функциональной связи.



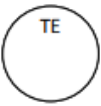
Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической системы автоматизируемого процесса. Оборудование на схемах показаны в виде условных изображений [6].

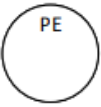
В процессе разработки функциональной схемы автоматизации решают данные задачи:

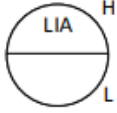
- Получение первичной информации о состоянии оборудования и технологического процесса;
- Регистрация и контроль технологических параметров процессов и контроль состояния технологического оборудования;
- Непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им и стабилизации технологических параметров процесса.


В приложение А приведена функциональная схема автоматизации системы блока низкотемпературной сепарации газа, разработанная по ГОСТ 21.408-2013 [5].

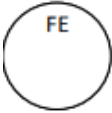
На функциональной схеме приведены следующие обозначения [6]:

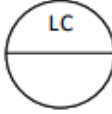
1)  Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту;

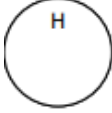
2)  Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения давления, установленный по месту;

3)  Прибор для измерения уровня показывающий, с контактным устройством, установленный на щите;

4)  Прибор для управления приводом задвижек, установленный по месту;

5)  Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту;

6)  Оборудование для управления уровнем жидкости, установленное удалённо;

7)  Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, установленная по месту.

### 3.3 Разработка схемы информационных потоков

Схема информационных потоков, которая приведена в альбоме схем (Приложение В) включает в себя три уровня сбора и хранения информации:

- Первый уровень (уровень датчиков и исполнительных механизмов);
- Второй уровень (программируемые логические контроллеры);
- Третий уровень (операторская станция, панель оператора);

На первом уровне представляются датчики, в которых формируются сигналы в инженерных величинах (не преобразованные).

На втором уровне представляются устройства ввода/вывода. На этом уровне происходит коммутация сигналов с датчиков, а так же формирование выходного управляющего сигнала по команде контроллера со следующего уровня.

На третьем уровне представлены контроллеры. Именно здесь происходит формирование выходного управляющего сигнала, опираясь на текущие показания технологических параметров. Здесь формируется оперативная база данных, необходимая для текущего контроля процесса. Все текущие параметры передаются через коммутатор оператору.

Параметры, передаваемые в локальную вычислительную сеть в формате стандарта OPC, включают в себя:

- уровень жидкости в трехступенчатом сепараторе, м;
- температура сырого газа на замерной нитки, °C;
- давление в трехступенчатом сепараторе, МПа;
- давление сырого газа на замерной нитки, МПа.

Все элементы контроля и управления имеет свой идентификатор (ТЕГ), который состоит из символьной строки. Структура шифра имеет следующий вид:

AAA\_BBB\_C

где

1) AAA – параметр, 3 символа, может принимать следующие значения:

- PRS – давление;
- TMP – температура;
- LVL – уровень;
- STT – состояние.

2) BBB – код технологического аппарата (или объекта), 3 символа:

- PSEP – первичный сепаратор;
- CSEP – центробежный сепаратор;
- NSEP – низкотемпературный сепаратор;
- VLV – задвижка;

3) CC – уточнение или примечание, не более 2 символов:

- 1 – замерная нитка до теплообменника;
- 2 – замерная нитка после теплообменника;
- L – низкий уровень;
- H – предупредительный верхний уровень;
- HH – аварийный верхний уровень;

Знак подчеркивания \_ необходим для отделения одной части идентификатора от другой.

Кодировка всех сигналов в SCADA-системе представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Кодировка всех сигналов

Кодировка	Расшифровка кодировки
PRS_PSEP	Давление газожидк. смеси в первичном сепараторе
PRS_CSEP	Давление газожидк. смеси в центробежном сепараторе
PRS_1	Давление сырого газа на замерной нитки до теплообмен.
TMP_1	Темпер. сырого газа на замерной нитки до теплообмен.
PRS_2	Давл. сырого газа на замерной нитки после теплообмен.
TMP_2	Темпер. сырого газа на замерной нитки после теплообм.
STT_VLV	Состояние задвижки регулятора
PRS_NSEP	Давление газожидк. смеси в низкотемператур. сепараторе
LVL_NSEP_L	Низкий уровень жидкости в низкотемператур. сепараторе
LVL_NSEP_H	Высокий уровень жидкости в низкотемперат. сепараторе
LVL_NSEP_HH	Аварийный уровень жидкости в низкотемпер. сепараторе
LVL_PSEP_L	Низкий уровень жидкости в первичном сепараторе
LVL_PSEP_H	Высокий уровень жидкости в первичном сепараторе
LVL_PSEP_HH	Аварийный уровень жидкости в первичном сепараторе
LVL_CSEP_L	Низкий уровень жидкости в центробежном сепараторе
LVL_CSEP_H	Высокий уровень жидкости в центробежном сепараторе
LVL_CSEP_HH	Аварийный уровень жидкости в центробежн. сепараторе

### 3.4 Выбор программно-технических средств АС

Выбор программно-технических средств реализации проекта АС включает в себя: проведение анализа вариантов, непосредственный выбор компонентов АС и проведение анализа их совместимости.

В состав программно-технических средств АС НТС УКПГ входят:

- измерительные устройства, осуществляющие сбор информации о ходе ТП;
- исполнительные устройства, преобразующие электрическую энергию в иные виды физических величин для осуществления воздействия на ОУ;
- контроллерное оборудование, выполняющее задачи вычисления и логические операций.

#### 3.4.1 Выбор средств реализации

#### 3.4.2 Выбор контроллерного оборудования

В процессе выбора контроллерного оборудования были рассмотрены 2 вида ПЛК: Siemens SIMATIC S7-1200 [9] и ЭЛСИ – ТМ [10].

В таблице 3 представлены технические характеристики двух ПЛК: Siemens SIMATIC S7-1200 и ЭЛСИ – ТМ.

Таблица 3 - Технические характеристики Siemens SIMATIC S7-1200, ЭЛСИ – ТМ.

Технические характеристики	ЭЛСИ-ТМ	SIMATIC S7-1200
Степень защиты	IP20	IP20
Время цикла	10 мс	0.08 мкс(лог.опер.) 1.7 мкс (слово)

Типы интерфейсов	RS 485, RS 232, Ethernet TCP/IP, Modbus	RS 485, Profibus, Ethernet TCP/IP, MPI, Modbus TCP/IP
Напряжение питания	24 В	24 В
Потребляемая мощность	Не более 110 Вт	6 Вт
Диапазон рабочих температур	0..+60 °C	-20..+60 °C

В результате технико-экономического анализа был выбран ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 (Рисунок 3).



Рисунок 2 – ЭЛСИ – ТМ



Рисунок 3 - Siemens SIMATIC S7-1200

В результате технико-экономического анализа был выбран ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 (Рисунок 2).

Программируемый логический контроллер Siemens SIMATIC S7-1200 – необходим для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера S7-1200, возможность использования структур локального и распределенного ввода-вывода, обширные коммуникационные возможности, функции, поддерживаемые на уровне операционной системы, удобная эксплуатация и обслуживание дают возможность получения решений для построения систем автоматического управления технологическими процессами в разных областях промышленного производства [4].

Возможности контроллера:

- Быстродействие и поддержка математических операций для эффективной обработки данных;

- Удобная настройка параметров с инструментами для всех модулей контроллера;
- Постоянный мониторинг системы для обнаружения ошибок и отказов с использованием диагностических функций;
- светодиодная индикация состояния и ошибок в работе контроллера;
- Журнал диагностических сообщений с метками даты и времени;
- Автоматический обмен данными между операционной системой контроллера и приборами.

На рисунке 3 представлена конфигурация ПЛК.

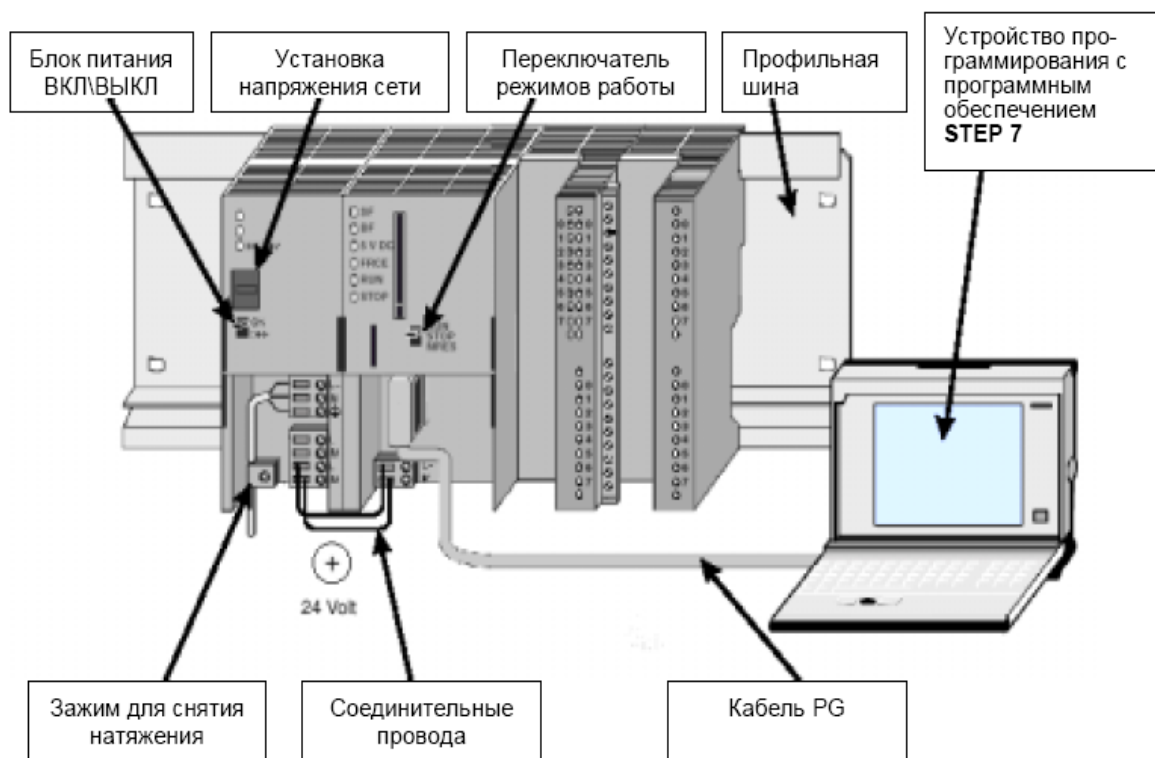


Рисунок 4 - Конфигурация ПЛК



### 3.4.3 Выбор датчиков

#### *Выбор датчика температуры*

В процессе выбора оборудования для измерения температуры низкотемпературной сепарации газа, были выделены два датчика температуры: МСТУ Метран-274 [11], Метран-288 [12].



Рисунок 5 - Датчик температуры Метран-288



Рисунок 6 – Датчик температуры ТСМУ Метран-274

Приведем технические характеристики выбранных датчиков (таблица 4):

Таблица 4 – Сравнение характеристик датчиков температуры.

Технические характеристики	Метран-288	ТСМУ Метран – 274
Измерение среды	Нейтральная и агрессивная	Нейтральная и агрессивная
Диапазон измерения	-50..+500°C	-40..+500°C
Погрешность измерений	±0,2%	±0,25%
Выходной сигнал	4-20 мА	4-20 мА
Диапазон температур окружающей среды	-50..+1200°C	-40..+1000°C
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP65	IP65

Данные датчики очень близки по техническим параметрам, однако датчик ТСМУ Метран -274 уступает конкуренту в таких показателях, как погрешность измерений и диапазон температур окружающей среды.

По технико-экономическим показателям, интеллектуального преобразования температуры и работы с агрессивными средами, был выбран датчик Метран-288.

Габаритные и присоединительные размеры, а также схема подключения приведена на рисунке 7 и 8.

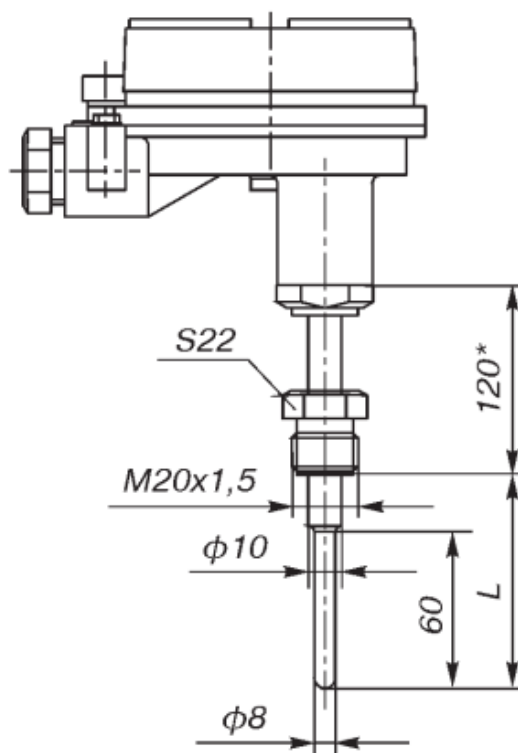


Рисунок 7 - Габаритные и присоединительные размеры Метран-288

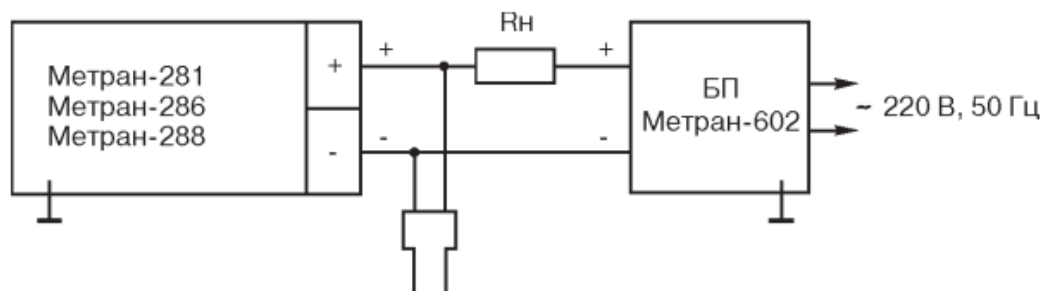


Рисунок 8 – Схема подключения датчика температуры Метран-288

При подключении коммутационных проводов к датчику температуры с выходным сигналом 4...20мА следует:

- Открутить крышку датчика;
- Снять нормирующий преобразователь;
- К клеммам 3 и 4 подключить коммутационные провода. Провод подключенный к клемме 4 подключить ко входу «-» (минус) измерительного

прибора, а к клемме 3 подключить к минусу источника питания, плюс источника питания подключить ко входу «+» измерительного прибора.

### ***Выбор уровнемера***

Важнейшим параметром, который должен находиться под непрерывным контролем, является уровень конденсата в трехступенчатом сепараторе.

Существует много технологий измерения уровня жидкости в резервуарах. Для сравнения возьмем датчик Rosemount 3300 [13], в котором применен волновод, и простой поплавковый датчик ОВЕН ПДУ И [14].



Рисунок 9 – Rosemount 3300



Рисунок 10 – ОВЕН ПДУ И

Основные черты ОВЕН ПДУ И – проверенные временем простота и надежность конструкции. В её основе лежит магнитный поплавок, который может перемещаться по измерительному стержню, внутри которого находятся герконы с шагом 10мм. С изменением измеряемого уровня, замыкаются разные герконы и, в зависимости от сопротивления цепи, формируется выходной сигнал.

Технология, примененная в Rosenmount 3300, сложнее чем технология, применяемая в ОВЕН ПДУ И. Она основана на различии диэлектрических постоянных двух граничащих сред. Импульсы, испускаемые по волноводу, отражаются от поверхности раздела сред, и в зависимости от времени и интенсивности отраженного импульса определяется уровень жидкости.

Сравнение характеристик датчиков уровня приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики датчиков уровня

	Rosenmount 3300	Овен ПДУ И
1	2	3
Техническая характеристика	Значение	
Диапазон измерений	от 230 до 5 000 мм	От 0 до 3000мм
Погрешность измерения уровня	$\pm 0,15\%$	$\pm(10+0,01L)$ мм
Зависимость погрешности от температуры	нет	да
Выходной сигнал	4-20 мА	4-20мА
Диапазон рабочих температур измеряемой среды	$-60...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-60...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$
Диапазон температур окружающей среды	$-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Степень защиты датчиков от воздействия пыли и воды	IP 65	IP65

Минус технологии ОВЕН ПДУ И в том, что уровень жидкости измеряется дискретно и на точность измерения может повлиять температура измеряемой среды. Опираясь на данный факт, выбор был сделан в пользу Rosenmount 3300.

«Уровнемер Rosenmount 3300 разработан для надежного и эффективного измерения уровня в широком диапазоне применений. Волноводная технология с улучшенными характеристиками обработки сигнала и более высокой

чувствительностью позволяет датчикам серии 3300 одновременно измерять уровень и уровень границы раздела сред. Двухпроводное подключение обеспечивает простоту и экономичность установки» [7].

### ***Выбор датчика давления***

Одним из параметров, который необходимо контролировать на разных этапах технологического процесса, является давление газожидкостной смеси. Существует огромное количество датчиков давления, работающих на основе разных явлений, но среди них было выделено к рассмотрению два следующих: СДВ - SMART [16] и Rosenmount 3051 [17].



Рисунок 11 – СДВ – SMART



Рисунок 12 – Rosenmount 3051

Приведем технические характеристики выбранных датчиков в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение характеристик датчиков давления

	Характеристики СДВ - SMART	Характеристики Rosemount 3051
Измеряемые величины	Избыточное давление, абсолютное давление, разность давлений, гидростатическое давление, дифференциальное давление	Избыточное давление, абсолютное давление, разность давлении
Рабочая среда	Жидкость, газ, пар, парогазовые и газожидкостные смеси	Жидкость, газ, пар, газожидкостные смеси
Основная приведенная погрешность	до $\pm 0,10\%$	$\pm 0,065\%$
Давление рабочей среды, МПа	от 0 до 68	от 0 до 68
Выходной сигнал	4-20мА,  HART протокол;  RS – 485	4-20мА,  HART протокол,  протокол Fieldbus,  протокол Profibus;
Диапазон рабочих темпе- ратур, °С	от -61 до 80	от -50 до 80
Цена, руб.	от 30 000 руб.	от 48 000 руб.

Данные датчики очень близки по техническим характеристикам, но отличаются по цене.



В результате выбора для измерения давления будет использоваться датчик избыточного давления СДВ - SMART, так как опережает своего конкурента по экономическим показателям.

Датчики серии СДВ - SMART состоят из первичного преобразователя давления и электронного блока обработки сигналов. Все преобразователи имеют унифицированный электронный блок и отличаются только конструкцией измерительного блока. Датчики СДВ - SMART изготавливаются в соответствии с последними и самыми высокими требованиями к контрольно измерительным приборам. Датчики данной серии способны сохранять работоспособность при кратковременном повышении токов и напряжений сверх установленной нормы, а также на них предусмотрена защита от переходных процессов. Существует отдельная внешняя кнопка установки «нуля», а также выбора поддиапазона измерений. Непрерывная самодиагностика датчика дает необходимый уровень надежности и защищенности технического процесса [5].

#### **3.4.4 Выбор сигнализаторов уровня**

Для контроля предельных значений уровня низкотемпературной сепарации газа, устанавливаются сигнализаторы предельного верхнего и нижнего уровня. Данные сигналы используются для автоматического включения и отключения дозирующих насосов.

В результате выбора для сигнализации уровня жидкости будет использоваться поплавковый магнитный датчик ОВЕН САУ-М6 [15]. Данный датчик хорошо функционирует в химических агрессивных средах, а так же в технологических ёмкостях под избыточным давлением до 30 бар и с высокой температурой до +200°С.

Технические характеристики представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Технические характеристики ОВЕН САУ-М6.

Параметр	Значение
Материал датчика	Нержавеющая сталь
Максимальная мощность	6 Ватт
Напряжение	220 В, 50 Гц
Температура контролируемой среды	-20...+120°С
Установка	Вертикальная

На рисунке 11 представлен сигнализатор уровня ОВЕН САУ-М6.

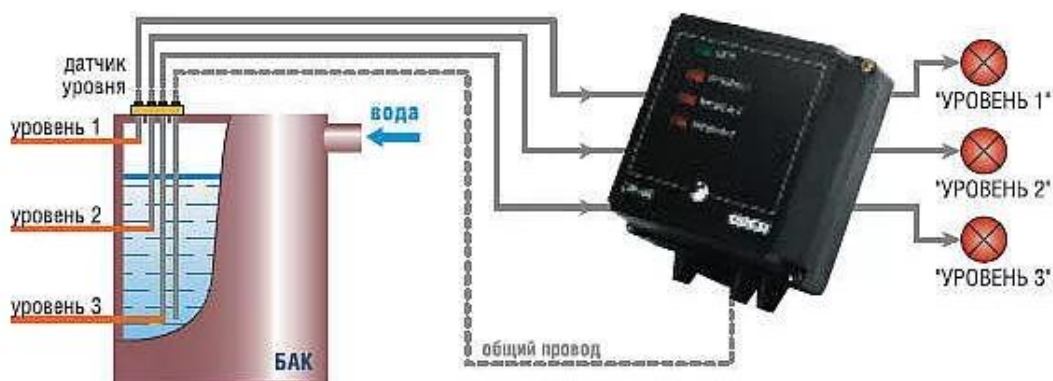


Рисунок 13 - Сигнализатор уровня ОВЕН САУ-М6

Контроль уровня низкотемпературной сепарации газа осуществляется при помощи кондуктометрических датчиков (зондов), которые устанавливаются показателем на заданных условиях технологического процесса. Для контроля над уровнем жидкости на панели прибора находятся светодиодные индикаторы, засветка которых происходит при поступлении сигнала от датчика.

Для управления оборудованием прибор имеет три встроенных электромагнитных реле, каждое из которых связано с датчиком уровня и срабатывает при заполнении или осушении датчика.

Принцип работы датчика:

Сигналы с датчиков уровней поступают на входы, в которых преобразовываются в электрические параметры, оптимальные для дальнейшей их обработки.

В состав канала прибора входит ступенчатый коммутатор X2 (X3, X4), который является регулятором чувствительности канала контроля уровня к электропроводящим свойствам жидкостей. Это позволяет работать с различными жидкими средами.

Пороговые устройства необходимы для фиксирования достижения рабочей жидкостью кондуктометрических зондов (т. е. заданных уровней) и сигнализации об этом при помощи засветки светодиодов УРОВЕНЬ. Также, данные устройства формируют сигналы, которые предназначены для управления выходными реле.

Выходные реле используются для того, чтобы управлять внешним оборудованием, обеспечивающим выполнение технологического процесса, связанного с контролем уровня. Реле срабатывает при контакте сигнального электрода с жидкостью.

Функциональная схема и схема подключения прибора изображены на рисунках 12 и 13.

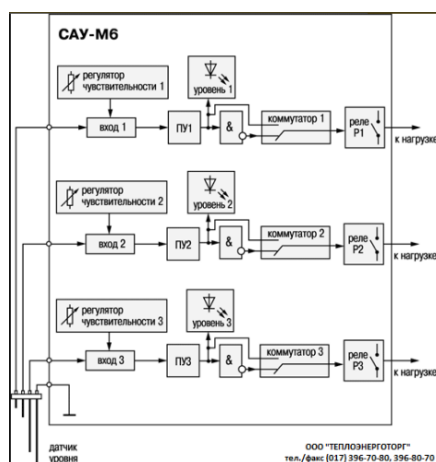


Рисунок 14 - Функциональная схема прибора ОВЕН САУ-М6

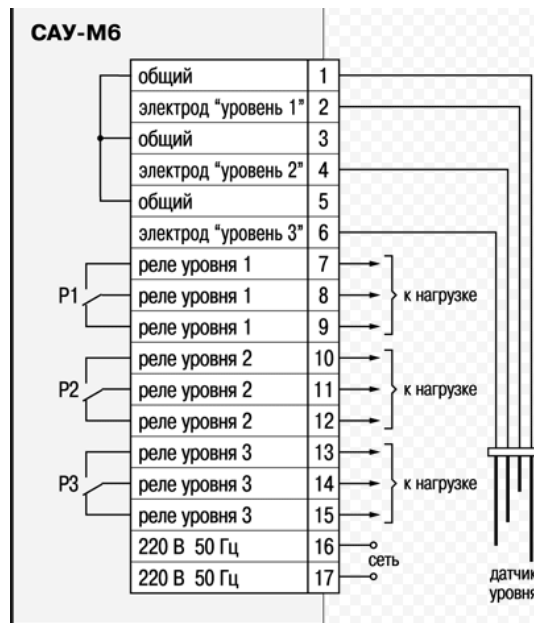


Рисунок 15 - Схема подключения прибора ОВЕН САУ-М6

### 3.4.5 Выбор исполнительных механизмов

#### *Выбор клапана*

В качестве исполнительных механизмов были выбран клапан с электроприводом и ручным управлением VFM2 [18] рисунок 16.



Рисунок 16 – Клапан VFM2

Управление клапаном осуществляется дистанционно (электроприводом) или вручную (при помощи маховика). Регулирующее воздействие от исполнительного устройства должно изменять процесс в требуемом

направлении для достижения поставленной задачи – стабилизация регулируемой величины. Технические характеристики клапана представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Технические характеристики клапана VFM2.

Техническая характеристика	Значение
Условный проход Ду, мм	100
Пропускная способность $K_v$ , м <sup>3</sup> /ч	630
Ход штока, мм	50
Динамический диапазон регулирования	Более 100 : 1
Характеристика регулирования	Логарифмическая
Коэффициент начала кавитации $Z$	0,3
Протечка через закрытый клапан, % от $K_{vs}$	0,03
Условное давление $P_u$ , МПа	10
Макс. перепад давления для закрытия клапана $\Delta P_{\text{макс.}}$ , МПа	5
Температура регулируемой среды $T$ , °C	-40...150
Присоединение	Фланцевое
Корпус клапана и крышка	Серый чугун
Седло, золотник и шток	Нержавеющая сталь
Уплотнение сальника	EPDM

При монтаже клапана необходимо убедиться, что направление регулируемой среды совпадает с направлением стрелки на его корпусе. Так же необходимо предусмотреть достаточное пространство вокруг клапана с электроприводом для их демонтажа и обслуживания. Устройство клапана приведено на рисунке 17.

## Устройство

1. Корпус клапана
2. Крышка клапана
3. Сальник
4. Шток
5. Золотник
6. Седло

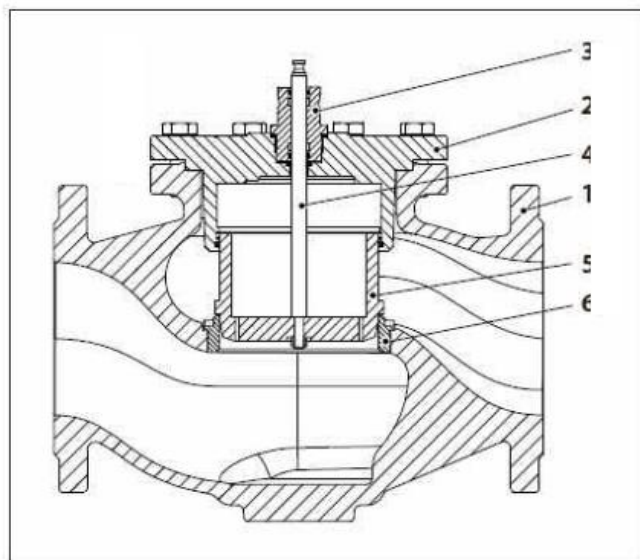


Рисунок 17 – Устройство клапана VFM2

Для управления клапана был выбран редукторный электропривод AMV 655 [19] (рисунок 18).



Рисунок 18 – Редукторный электропривод AMV 655

Отличительные особенности:

- Ручное управление либо механическое и/или электрическое;
- Индикация положения;
- Сигнальные светодиоды (LED);
- Выбираемая скорость перемещения штока;
- Импульсный выходной сигнал;
- Термическая защита и защита от перегрузок;
- Функция реверсного движения штока;

Редукторные электроприводы серии AMV655 предназначены для управления регулирующими клапанами под воздействием аналогового или импульсного 3-х позиционного управляющего сигнала электронных регуляторов. Мощность данного электропривода составляет 16,1 Ватт.

Технические характеристики привода представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Технические характеристики электропривода AMV 655.

Технические характеристики	Значение
Сигнал управления	4...20мА.
Класс защиты	IP54
Тип двигателя	Асинхронный
Температурный диапазон	-40...+70°С
Сила тяги	90 Н

### ***Выбор насоса***

В процессе работы трехступенчатого сепаратора, в нём скапливается конденсат и капельная жидкость. При достижении определенного уровня данных жидкостей, их требуется откачивать в дренажную ёмкость. Для этого требуются насосы, которые пригодны для перекачивания, возможно, горючих веществ. Главным фактором при выборе насоса является его взрывобезопасное исполнение.

Насосов для перекачки горючих веществ очень много и они все имеют разную производительность. Анализируя все варианты, представлены два наиболее подходящих варианта: ХМ (АХМ) 80/20 К5 (11Вх3000) [20] и КМ 100-80-170Е-м ХЛ2 [21].



Рисунок 19 – ХМ (АХМ) 80/20 К5 (11Вх3000)



Рисунок 20 – КМ 100-80-170Е-м ХЛ2

Проведем сравнение выбранных насосов. Основные характеристики данных насосов приведены в таблице 10:

Таблица 10 – Технические характеристики насосов

	ХМ (АХМ) 80/20 К5 (11Вх3000)	КМ 100-80-170Е-м ХЛ2
1	2	3
Техническая характеристика	Значение	
Подача, м <sup>3</sup> /час	100	100
Напор, м	32	25
Частота вращения, об/мин	2900	2900
Требуемая мощность электродвигателя, кВт	11	11



Таблица 10 – Технические характеристики насосов (Продолжение)

1	2	3
Вязкость перекачиваемой жидкости, сСт	До 500	До 100
Температура перекачиваемой жидкости, °С	До 135	До 120
Температура окружающей среды, °С	От -50 до +70	От -40 до +50
Взрывобезопасное исполнение	Да	Да

Анализируя показатели насосов, можно сказать, что явным лидером среди выбранных насосов является насос ХМ (АХМ) 80/20 К5 (11Вх3000). Он имеет повышенный запас по вязкости перекачиваемой среды, а так же способен выдерживать более низкие температуры окружающей среды.

### ***Выбор асинхронного двигателя***

Далее для реализации проекта потребуется электродвигатель, который будет приводить во вращение насос. Одним из главных требований к электродвигателю является его взрывобезопасное исполнение, т.к. перекачиваемая насосом среда может быть горючей.

Выбранный ранее насос, установил ограничения на мощность двигателя и скорость его вращения. Среди многообразия электродвигателей, были выбраны два следующих трехфазных асинхронных двигателя: АИР А132М2 [22] и Siemens 1LA7163-2AA [23].



Рисунок 21 – АИР А132М2



Рисунок 22 – Siemens 1LA7163-2AA

Сравним технические характеристики электродвигателей АИР А132М2 и Siemens 1LA7163-2AA . Характеристики обоих двигателей представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики электродвигателей

	АИР А132М2	Siemens 1LA7163-2AA
Характеристика:	Значение	
Мощность, кВт	11	11
Масса, кг	54	68.5
Частота вращения, об/мин	2890	2940
КПД, %	88	89,5
Коэфф. мощности	0,88	0.88
Ток при 380В, А	22	20
Отношение пускового тока к номинальному	7,5	6,5

Продолжение таблицы 11 – Характеристики электродвигателей

Отношение пускового момента к номинальному	2,8	2,1
Отношение максимального момента к номинальному	3,5	2,9
Цена, руб	От 17000	От 54000

Данные электродвигатели очень близки по техническим характеристикам, однако очень отличаются в цене, поэтому выбор был сделан в пользу отечественного двигателя АИР А132М2. Благодаря возможности быстрой замены электродвигателя и герметичности насоса появляется возможность ремонта оборудования без простоя технологического процесса. Гарантийный срок службы этого двигателя достаточно большой, поэтому, если по какой-то причине двигатель вышел из строя, фирма изготовитель привозит на объект новый двигатель, а не работающий забирает на экспертизу и ремонт.

### ***Выбор частотного преобразователя***

Для регулирования оборотами электродвигателя будем использовать преобразователь частоты (ПЧ). ПЧ генерирует трехфазное напряжение переменной частоты и амплитуды из однофазного или трехфазного напряжения с фиксированной частотой. Далее трехфазное напряжение выпрямляется с помощью диодного моста и конденсатора большой емкости. Напряжение постоянного тока в звене постоянного тока конвертируется в трехфазное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Во входной цепи трехфазного электродвигателя для этой цели используются быстродействующие электронные ключи, так называемые IGBT транзисторы (биполярные транзисторы с изолированным затвором). Ключи подключают каждую фазу

электродвигателя либо к положительной, либо к отрицательной шине. Продолжительность подачи напряжения и его полярность можно настроить очень точно, так, чтобы с помощью такой широтно- импульсной модуляции напряжения постоянного тока смоделировать требуемое синусоидальное напряжение.

Опираясь на ограничения, которые установлены по максимальному значению тока и мощности, были выбраны два преобразователя частоты от известных производителей: Siemens MICROMASTER 420 [24] и HYUNDAI N700E-110HF [25].



Рисунок 23 – Siemens MICROMASTER 420



Рисунок 24 – HYUNDAI N700E-110HF

Сравним характеристики выбранных преобразователей. Они представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики преобразователей частоты

	Siemens MICROMASTER 420	HYUNDAI N700E- 110HF
Характеристика:	Значение	
Мощность, кВт	11	11
Номинальный ток двигателя, А	23	26
КПД преобразователя, %	96	95
Степень защиты	IP20	IP20
Цифровой интерфейс	RS485	RS485
Встроенный ПИД регулятор	Да	ДА

Технические характеристики выбранных преобразователей частоты почти идентичны, но преобразователь HYUNDAI N700E-110HF имеет ряд преимуществ по сравнению со своим конкурентом:

- Улучшенные характеристики управления на низких скоростях;
- Двигатель защищен от исчезновения фазы на выходе в ходе работы;
- Варьирование скорости – менее 1% на номинальной скорости;
- Возможность предотвращения аварий с помощью функции защиты от короткого замыкания;
- Оптимизированное сохранение электроэнергии согласно характеристикам нагрузки.

Выбор сделан в пользу HYUNDAI N700E-110HF.

### 3.5 Разработка схемы внешних проводок

Схема внешней проводки приведена в альбоме схем (Приложение В) Первичные и внештатные приборы включают в себя датчики уровня жидкости, температуры сырого газа на измерных нитках, датчики давления, расходомеры. Сигнал с данных приборов преобразуется в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА.

Для передачи сигналов от уровнемера, датчика температуры, датчика давления, расходомеров, на щит КИПиА будем использовать кабель КВВГ по три провода, а для сигнализаторов – два провода.

КВВГЭНг – это контрольный кабель с токопроводящей медной жилой, с ПВХ изоляцией, в ПВХ оболочке. Экран из алюминиевой фольги. Изготовлен из негорючих материалов. Данный вид кабеля используется для передачи переменного тока напряжением до 660 В и 100 Гц или постоянного напряжения до 1000 В, при температуре от -50°C до +50°C. Медные токопроводящие жилы кабелей КВВГ выполнены однопроволочными. Изолированные жилы скручены [26].

Кабель прокладывается в трубе диаметром 20 мм.

### 3.6 Выбор алгоритмов управления АС (НТС)

В автоматизированной системе на разных уровнях управления используются различные алгоритмы [27]:

- Алгоритмы поддержания уровня газожидкостной смеси в трехступенчатом сепараторе (разрабатываются на ПЛК и SCADA-форме);
- Релейные или ПИД-алгоритмы автоматического регулирования технологическими параметрами технологического оборудования (управление положением рабочего органа) (реализуются по ПЛК);

- Алгоритмы управления сбором измерительных сигналов (алгоритмы в виде универсальных логических завершённых программных блоков, помещаемых в ППЗУ контроллеров) (реализуется на ПЛК);
- Алгоритмы централизованного управления АС (реализуется на ПЛК или SCADA-форме).

В данной выпускной квалификационной работе разработаны следующие алгоритмы АС:

- Алгоритм поддержания уровня;
- Алгоритм автоматизированного регулирования технологическим параметром;

Для разработки пуска/остановки и сбора данных, будем использовать правила ГОСТ 19.002.

#### ***Алгоритм поддержания уровня жидкости в трехступенчатом сепараторе***

В качестве канала измерения выберем канал измерения уровня в трехступенчатом сепараторе. Для этого канала разработаем алгоритм поддержания уровня жидкости. Алгоритм поддержания уровня жидкости с канала измерения уровня трехступенчатого сепаратора представлены в альбоме схем (Приложение 3).

#### ***Алгоритм автоматического регулирования***

В процессе работы трехступенчатого сепаратора в нём скапливается конденсат и мелкие механические примеси, которые должны отводиться из сепаратора насосам. В процессе перекачки данной среды, нужно поддерживать давление в линии нагнетания насоса, исходя из условий прочности трубопровода и установленного на нём оборудования.

Поэтому в качестве регулируемого параметра технологического процесса выбираем давление конденсата на линии нагнетания насоса.

В качестве алгоритма регулирования будем использовать алгоритм ПИД регулирования, который позволяет обеспечить хорошее качество регулирования, достаточно малое время выхода на режим и невысокую чувствительность к внешним возмущениям.

Схема регулирования состоит из следующих основных элементов: входное воздействие, ПЛК с ПИД-регулятором, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, насос, объект управления и датчик давления.

Функциональная схема системы поддержания давления в трубопроводе приведена на рисунке 25.

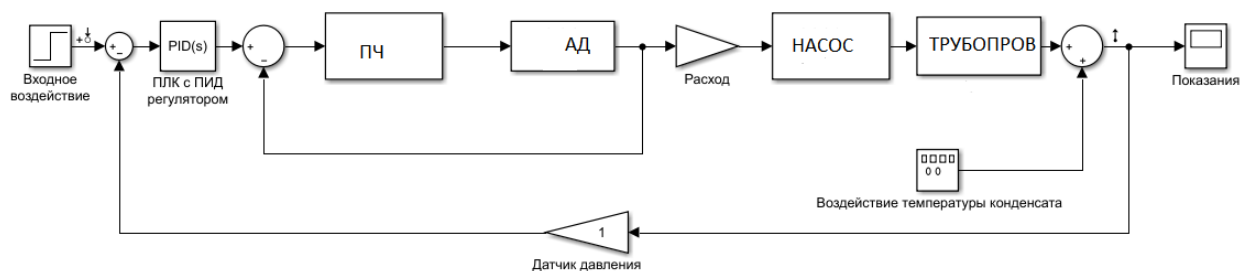


Рисунок 25 – Функциональная схема системы поддержания давления в трубопроводе

Объектом управления является участок трубопровода. С панели оператора задается давление, которое нужно обеспечить в трубопроводе. В ПЛК подается значение с датчика давления, происходит сравнение значений, и формируется выходной токовый сигнал. Этот сигнал подается на преобразователь, который напряжение питания асинхронного двигателя. Асинхронный двигатель с насосом преобразуют электрическую энергию в потенциальную энергию давления жидкости.

Линеаризованная модель системы управления описывается следующим набором передаточных функций:



### **Передаточная функция насосного агрегата.**

Регулирующий насос представляет собой апериодическое звено, преобразующее скорость вращения вала  $\omega$  на входе в производительность насоса.

Исходя из технических характеристик насоса, рассчитаем коэффициент передачи и постоянную времени насоса.

Постоянную времени для насоса принимаем  $T_H = 0,2$  с. Коэффициент передачи насоса определяется в статическом режиме как отношение номинальной производительности насоса  $Q_H$  к номинальной скорости электродвигателя насоса  $\omega_H$ . Номинальная производительность  $Q_H = 100$  м<sup>3</sup>/ч, (0,0276 м<sup>3</sup>/с); номинальная скорость  $\omega_H = 2900$  об/мин, (303 рад/с).

$$k_H = \frac{Q_H}{\omega_H} = \frac{0,0276}{303} = 0,0000913; \quad (1)$$

$$W_H(s) = \frac{k_H}{T_H * s + 1} = \frac{0.0000913}{0.2 * s + 1}, \quad (2)$$

где:

$Q_H$  – номинальная производительность;

$\omega_H$  – номинальная скорость;

$k_H$  – статический передаточный коэффициент насоса;

$T_H$  – постоянная времени насоса.

### **Передаточная функция асинхронного электродвигателя АИР А132М2.**

Асинхронный двигатель представляет собой апериодическое звено, преобразующее электрическую энергию в скорость вращения вала.

Исходя из технических характеристик АД (асинхронного двигателя), рассчитаем коэффициент передачи и постоянную времени АД.

Статический передаточный коэффициент двигателя определяется как отношение угловой скорости вращения двигателя  $\omega$  к частоте питающей сети  $f$ . Номинальная частота питания  $f_H = 50$  Гц. Постоянную времени двигателя примем равной  $T_{дв} = 0,87$ .

$$k_{дв} = \frac{w_{дв}}{f_H} = \frac{2 * 3,14 * 2900}{60 * 50} = 6,06; \quad (3)$$

$$W_{дв}(s) = \frac{k_{дв}}{T_{дв} * s + 1} = \frac{6.06}{0.87 * s + 1}, \quad (4)$$

где:

$k_{дв}$  – статический передаточный коэффициент асинхронного электродвигателя;

$T_{дв}$  – постоянная времени двигателя;

$w_{дв}$  – угловая скорость вращения двигателя.

### **Передаточная функция преобразователя частоты.**

ПЧ представляет собой апериодическое звено, преобразующее электрическую энергию сети в электрическую энергию для управления насоса:

$$W_{пч}(s) = \frac{k_{пч}}{T_{пч} * s + 1}, \quad (5)$$

где:

$k_{пч}$  – статический передаточный коэффициент преобразователя;

$T_{пч}$  – постоянная времени преобразователя;

Передаточный коэффициент преобразователя определяется в статическом режиме при номинальном значении выходного воздействия по формуле:

$$k_{пч} = \frac{f_H}{I_{вх}}, \quad (6)$$

где:

$f_H$  – частота на выходе преобразователя;

$I_{BX}$  – управляющий ток на входе ПЧ, который обеспечивает номинальную частоту на выходе.

Поскольку управление ПЧ осуществляется током  $4 \div 20$  мА, а частоту двигателя необходимо изменять в диапазоне  $0 \div 50$  Гц, то номинальной частоте двигателя ( $f_H = 50$  Гц) будет соответствовать входное напряжение управления ПЧ  $I_{BX.H} = 20$  мА.

$$k_{пч} = \frac{f_H}{I_{BX}} = \frac{50}{20} = 2,5 \quad (7)$$

Постоянная времени преобразователя определяется по формуле

$$T_{пч} = T_{\phi} + \frac{1}{2 * m * f_H}, \quad (8)$$

где:

$T_{\phi}$  – постоянная времени цепи системы импульсно-фазового управления (СИФУ) ПЧ, включая фильтр;  $m$  – число фаз ТПЧ.

Значение постоянной времени цепи СИФУ преобразователей обычно составляет  $0,003 \div 0,005$  с, поэтому при моделировании принято принимать значение  $T_{\phi}$  из данного диапазона. Так как ПЧ реализует управление трёхфазным двигателем, то число фаз  $m = 3$ . Номинальное значение выходной частоты  $f_H$  составляет 50 Гц.

$$T_{пч} = T_{\phi} + \frac{1}{2 * m * f_H} = 0,003 + \frac{1}{2 * 3 * 50} = 0,0063 \quad (9)$$

Передаточная функция преобразователя:

$$W_{\text{пч}}(s) = \frac{k_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} * s + 1} = \frac{2.5}{0.063 * s + 1} \quad (10)$$

### **Передаточная функция трубопровода.**

Объектом управления является участок трубопровода, располагающийся между точкой измерения давления и регулирующим органом. Длина участка трубопровода зависит от правил установки датчика и РО и составляет 10 метров. Передаточная функция объекта управления приближенно описывается апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием и представлена формулой (11) [1]:

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{1}{T * s + 1} * e^{-\tau_0 * s}; \quad (11)$$

$$T = \frac{2 * L * f * c^2}{Q}; \quad (12)$$

$$\tau_0 = \frac{L * s}{Q}; \quad (13)$$

$$c = \frac{Q}{f} * \sqrt{\frac{p}{2 * \Delta p}}; \quad (14)$$

$$f = \frac{\pi * d^2}{4}, \quad (15)$$

где:

$Q_k(p)$  – объемный расход жидкости после клапана;

$Q(p)$  – измеряемый объемный расход жидкости;

$\rho$  – плотность жидкости;

$L$  – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования;

$d$  – диаметр трубы;

$f$  – площадь сечения трубы;

$\Delta p$  – перепад давления на трубопроводе;

$\tau_0$  – запаздывание;

$T$  – постоянная времени.

Характеристики участка трубопровода представлена в таблице 13.

Таблица 13 - Характеристики участка трубопровода

Характеристика:	Значение
Рабочее давление в трубопроводе, не более, Мпа	5,5
Удельный вес газожидкостной смеси $\gamma$ , кг/с	650
Объемный расход жидкости, м <sup>3</sup> /ч	1000
Объемный расход жидкости, м <sup>3</sup> /с	0,277
Длина участка трубопровода, м	10
Диаметр трубы, м	0,1
Перепад давления на трубопроводе, кгс/м <sup>2</sup>	5098,581

$$f = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3,14 * 0,15^2}{4} = 0.018; \quad (16)$$

$$c = \frac{Q}{f} * \sqrt{\frac{p}{2 * \Delta p * g}} = \frac{0,277}{0,018} * \sqrt{\frac{650}{2 * 5098,581 * 9.8}} = 1,241; \quad (17)$$

$$T = \frac{2 * L * f * c^2}{Q} = \frac{2 * 10 * 0.018 * 1,241^2}{0,277} = 2,002; \quad (18)$$

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{1}{2,002 * s + 1}. \quad (19)$$

Датчик давления.

Датчик давления имеет передаточную функцию пропорционального звена с коэффициентом, примерно равным единице:

$$W_{\text{дд}}(s) = 1 \quad (20)$$

Соберем данную систему в Simulink (рисунок 26):

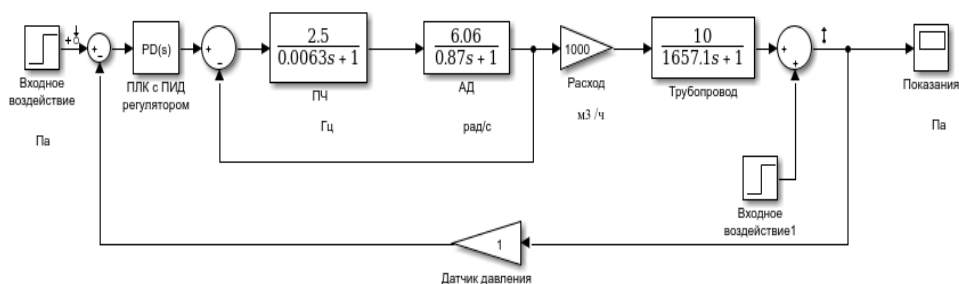


Рисунок 26 – Система регулирования, собранная в Simulink

В результате эксперимента, получен переходный процесс, который представлен на рисунке 27.

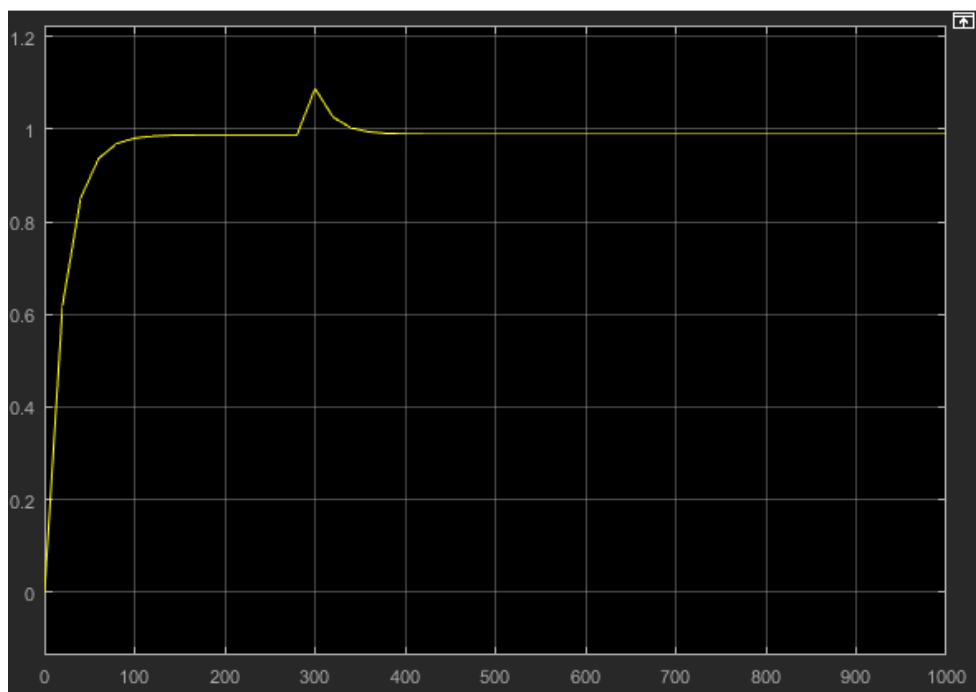


Рисунок 27 – График переходных процессов

Прямые показатели качества переходного процесса, такие, как время переходного процесса и перерегулирование составляют соответственно 12сек. и 0%. Перерегулирование отсутствует, что предпочтительно для систем, так как увеличивается эксплуатационный период составляющих системы, то есть уменьшается износ оборудования.

### **3.7 Экранные формы АС НТС**

Дерево экранных форм изображено в альбоме схем (Приложение Ж).

Управление в АС НТС реализовано при помощи набора экранных форм (мнемосхем), на которых наглядно представлен ход технологического процесса, значения его параметров и состояния устройств.

Управление в АС блока низкотемпературной сепарации газа реализовано с использованием SCADA системы TIA Portal [28]. Эта система предназначена для использования на действующих технологических установках в реальном времени и требует использования компьютерной техники в промышленном исполнении, отвечающей жестким требованиям в смысле надежности, стоимости и безопасности.

В TIA Portal предусмотрена OPC технология, которая предполагает возможность использования оборудования различных производителей. Выбранная SCADA-система не ограничивает выбор аппаратуры нижнего уровня, позволяет подключать к ней внешние, компоненты, которые работают независимо, включая, программные и аппаратные модули, разработанные отдельно.

Пользователь может осуществлять навигацию экранных форм с использованием кнопок прямого вызова. В начале пользователь авторизуется, после авторизации на экране отображается основная экранная форма, которая отображает процесс в целом, а также контроль некоторых основных параметров ТП (технологического процесса).

Находясь на основной экранной форме можно перейти к дополнительным формам, которые будут более детально отображать протекающие процессы на участках ТП. Со всех форм предусмотрена возможность перехода к формам, которые будут отображать архивные данные, а так же текущие значения параметров в виде графиков.

На мнемосхеме «Низкотемпературная сепарация газа» отображается работа следующих объектов и показания приборов:

- Давление в трехступенчатом сепараторе;
- Уровень в трехступенчатом сепараторе;
- Состояния задвижек;



#### 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, также необходимо оценить полные денежные затраты на проект и получить хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения.

##### 4.1 Организация и планирование работ

Перечень этапов выполненной работы и их исполнители приведены в таблице 14

Таблица 14 – Перечень этапов работы и их исполнители

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка цели и задач исследования	НР	100 %
	И	10 %
Составление и утверждения технического задания	НР	100 %
	И	10 %
Обзор литературы	И	100 %
Расчеты и аналитика (экспериментальная часть)	И	100 %
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных работ	НР	30 %
	И	100 %
Анализ экологичности и экономичности проведенных работ	И	100 %
Оформление пояснительной записки и презентационного материала	И	100 %

#### 4.1.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работы выполняется опытно-статистическим методом, реализуемым экспертным способом. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6}, \quad (3)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дни;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дни;

$t_{prob}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, дни.

Для построения линейного графика рассчитывается длительность этапов в рабочих днях, а затем переводится в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) осуществляется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{BH}} \cdot K_D, \quad (4)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дни;

$K_{BH}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{BH} = 1$ ;

$K_D$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_D = 1 \div 1,2$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях осуществляется по формуле:

$$T_{KD} = T_{PD} \cdot T_K, \quad (5)$$

где  $T_K$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях.

Коэффициент календарности выполняется по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 51 - 15} = 1,221 \quad (6)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни ( $T_{КАЛ} = 365$ );

$T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 51$ );

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 15$ ).

В таблице 15 представлены результаты расчетов продолжительности этапов работы и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. На основании этих результатов был построен линейный график (таблица 16).

Таблица 15 – Трудозатраты на выполнение работы

Этапы работы	Исполнители	Продолжительность работ, дни				Трудоемкость работ по исполнителям, чел-дн.			
						$T_{PD}$		$T_{KD}$	
		$t_{min}$	$t_{prob}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка цели и задач исследования	НР И	1	3	5	3	3,3	0,33	4,03	0,40
Составление и утверждения технического задания	НР И	1	3	5	3	3,3	0,33	4,03	0,40
Обзор литературы	И	7	14	21	14	-	15,4	-	18,80
Расчеты и аналитика (экспериментальная часть)	И	10	15	25	10	-	49,5	-	60,44
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных работ	НР И	3	5	10	3	1,65	5,5	2,01	6,72
Анализ экологичности и экономичности проведенных работ	И	3	5	10	5	-	11	-	13,43
Оформление пояснительной записки и презентационного материала	И	3	7	10	7	-	7,7	-	9,40
Итого:					135	8,25	89,76	10,07	109,59

Таблица 16 – Линейный график работы

Этапы работы	Исполнители	Т <sub>кд</sub> , дни	Продолжительность выполнения работ														
			02.19			03.19			04.19			05.19			06.19		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Постановка цели и задач исследования	НР	4,03	■														
	И	0,40	■														
Составление и утверждения технического задания	НР	4,03		■													
	И	0,40			■												
Обзор литературы	И	18,80			■												
Расчеты и аналитика (экспериментальная часть)	И	60,44				■	■	■	■	■	■						
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных работ	НР	2,01										■					
	И	6,72											■				
Анализ экологичности и экономичности проведенных работ	И	13,43												■			
Оформление пояснительной записки и презентационного материала	И	9,40													■		

■ – исполнитель; ■ – научный руководитель

#### 4.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего ( $i$ -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом. Степень готовности определяется по формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}, \quad (7)$$

где  $TP_{общ}$  – общая трудоемкость работы;

$TP_i$  ( $TP_k$ ) – трудоемкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа работы,  $i = \overline{1, I}$ ;

$TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе,  $j = \overline{1, m}$ .

Результаты расчетов представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого ее этапа

Этапы работы	$TP_i$ , %	$CG_i$ , %
Постановка цели и задач исследования	3,70	3,70
Составление и утверждения технического задания	3,70	7,40
Обзор литературы	15,71	23,11
Расчеты и аналитика (экспериментальная часть)	50,51	73,62
Обсуждение результатов и оценка эффективности проведенных работ	7,30	80,92
Анализ экологичности и экономичности проведенных работ	11,22	92,14
Оформление пояснительной записки и презентационного материала	7,86	100,00

## **4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### 4.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье затрат относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работы. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Таблица 18 – Расчет затрат на материалы

Наименование	Кол- во, ед.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Блокнот	3	40	120
Ручка Pilot	3	50	150
Картридж для принтера (ч/б) Advantage Black	2	1 090	2 180
Картридж для принтера (цв) Advantage Tri-Colour	1	890	890
Бумага для принтера А4 SvetoCopy	1	300	300
Лицензия ПО Microsoft Office	1	5 990	5 990
<b>Всего за материалы</b>	9630		
<b>Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)</b>	385		
<b>Итого по статье</b>	10 015		

#### 4.2.2 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-м}} = MO / 24,917, \quad (8)$$

где МО – месячный оклад для сотрудников ТПУ, руб.;



24,917 – среднее количество рабочих дней в месяце (при шестидневной рабочей неделе).

Для учета в составе полной заработной платы премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{ПР} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_r = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{и} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$ .

Результаты расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб/мес.	$ЗП_{\text{он-т}}$ , руб/раб.день	$T_{РД}$ , дни	$K_{и}$	Фонд ЗП, руб.
НР	29 568	1 186,66	9	1,62	<b>18 145,22</b>
И	15 470	620,86	90	1,62	<b>94 935,70</b>
<b>Итого:</b>					<b>113 080,92</b>

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30,1 % от полной заработной платы по проекту, т.е.

$$C_{соц} = 0,30 \cdot C_{ЗП} \quad (9)$$

Тогда

$$C_{соц} = 0,30 \cdot 113080,92 = 33924,2$$

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}, \quad (10)$$

где  $P_{об}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$t_{об}$  – время работы оборудования, час;

$Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час, руб. (для ТПУ – 5,748 руб/кВт·час).

Результаты расчета затрат на электроэнергию приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты на электроэнергию

Оборудование	$t_{об}$ , час	$P_{об}$ , кВт	$C_{эл.об.}$ , руб.
ПК	504 (720·0,7)	0,3	869,10
Принтер (ч/б)	10	0,1	5,75
Принтер (цв)	2	0,1	1,15
<b>Итого:</b>			876,00

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов

Амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта определяется по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot Ц_{ОБ} \cdot t_{pф} \cdot n}{F_D}, \quad (11)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР, руб.;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, час;

$t_{pф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения работы, час;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Норма амортизация ПК определяется следующим образом:

$$H_A(ПК) = 1/C_A = 1/2,5 = 0,4, \quad (12)$$

где  $C_A$  – срок амортизации ПК (2-3 года).

Норма амортизации принтера (ч/б):

$$H_A(пр ч/б) = 1/C_A = 1/2 = 0,5$$

Норма амортизации принтера (цв):

$$H_A(пр цв) = 1/C_A = 1/3 = 0,33$$

Тогда

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 \cdot 50000 \cdot 0,75 \cdot 720 \cdot 1}{299 \cdot 8} = 4515,05 \text{ руб.}$$

$$C_{AM}(np \text{ ч/б}) = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 10 \cdot 1}{500} = 100,00 \text{ руб.}$$

$$C_{AM}(np \text{ цв}) = \frac{0,33 \cdot 15000 \cdot 2 \cdot 1}{100} = 99,00 \text{ руб.}$$

Общие амортизационные отчисления составят:

$$C_{AM}общ = 4515,05 + 100,00 + 99,00 = 4714,05 \text{ руб.}$$

#### 4.2.6 Расчет прочих расходов

В данной статье отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10 % от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$\begin{aligned} C_{np} &= 0,1 \cdot (C_{mat} + C_{зн} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) \\ &= 0,1 \cdot (10015 + 113080,92 + 34037,4 + 876 + 4714,05) \\ &= 16272,34 \text{ руб.} \end{aligned} \tag{13}$$

#### 4.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Результаты расчетов по всем статьям затрат (работы) себестоимость приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Смета затрат на разработку проекта

Стагьи затрат	Сумма, руб
Затраты на материалы и покупные изделия $C_{mat}$	10 015,00
Затраты на заработную плату $C_{зн}$	113 080,92
Затраты на отчисления в социальные фонды $C_{соц}$	34 037,40
Затраты на электроэнергию $C_{эл.об.}$	876,00
Затраты на амортизационные расходы $C_{ам}$	4 714,05
Затраты на прочие расходы $C_{пр}$	16 272,34
<b>Итого:</b>	<b>178 995,77</b>

#### 4.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта следует принять в размере 5-20 % от полной себестоимости работы и составит 26 849,36 руб. (15 %).

#### 4.2.9 Расчет НДС

С 2019 года НДС составляет 20 % от суммы затрат на разработку и прибыли.

Тогда

$$НДС = 0,2 \cdot (178995,77 + 26849,36) = 41169,03 \text{ руб.} \quad (14)$$

#### 4.2.10 Цена разработки НИР

Цена разработки определяется следующим образом:

$$C_{НИР} = 178995,77 + 26849,36 + 41169,03 = 247014,16 \text{ руб.} \quad (15)$$

### **4.3 Оценка экономической эффективности проекта**

Результат данной работы носит исключительно исследовательский характер, поскольку данный результат не доведен до степени готовности к конкретному технологическому применению и требует уточнения и дополнительных затрат на последующих стадиях проектирования. В связи с этим оценка его экономической эффективности на данном этапе некорректна [8].

## 5 Социальная ответственность

Сущность проекта ВКР заключается в модернизации автоматизированной системы блока подготовки газа. Данный проект может быть применим при внедрении или модернизации систем автоматизации для установки подготовки газа.

Рабочее место для выполнения экспериментальной части бакалаврской работы представляет собой компьютерный класс корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Рабочее место при эксплуатации автоматизированной системы управления блока разделителей жидкости установки комплексной подготовки газа (УКПГ) является здание операторной и непосредственно сама площадка установки [9].

### 5.1 Производственная безопасность

Проанализируем основные вредные и опасные производственные факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений (табл. 22) [10].

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Р	Э	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

## Продолжение таблицы 22 -Возможные опасные и вредные факторы

2. Наличие ЭМП	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
3. Недостаток естественного освещения	+	+	СП 52.13330-2016. Естественное и искусственное освещение.
4. Недостаток искусственного освещения	+	+	
5. Повышенный уровень шума	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
7. Повышенный уровень вибрации	-	+	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
* Р – разработка; Э – эксплуатация			

### 5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов рабочей зоны (компьютерный класс)

#### *Микроклиматические условия*

Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, к перегреву организма или тепловому удару, а пониженная температура – может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение [11].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что



приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

Выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ, производится сидя и сопровождается незначительным физическим напряжением. Для данной категории работ определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата, которые приведены в таблицах 23-24 [12, 13].

Таблица 23 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 24 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, не более	
		1	2			1	2
Холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2

Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах [14], можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть гарантируют поддержание нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и производят условия для повышенной степени работоспособности.

Ионный состав воздуха должен содержать следующее количество отрицательных и положительных аэроионов: минимально необходимый уровень 600 и 400 ионов в  $1 \text{ см}^3$  воздуха; оптимальный уровень 3000-5000 и 1500-3000 ионов в  $1 \text{ см}^3$  воздуха; максимально допустимый – 50000 ионов в  $1 \text{ см}^3$  воздуха [15].

Характерные требования к помещениям, где используются компьютеры:

- площадь на одно рабочее место должна быть не менее  $6 \text{ м}^2$ , а объем - не менее  $20 \text{ м}^3$ ;
- не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях.

В помещениях с компьютерами ежедневно проводится влажная уборка. До и после работы за компьютером помещение проветривается в течение 5-10 минут, желательны частые перерывы во время работы [10].

### ***Электромагнитные излучения***

В кабинете имеется два источника электромагнитного излучения – монитор и системный блок.

Электромагнитные излучения приводят к развитию функциональных расстройств (пагубное воздействие на нервную систему) и патологических состояний (головной боли, снижение работоспособности к концентрации

внимания, снижение артериального давления, функциональные нарушения зрения, развитие катаракты, кожные заболевания).

Уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения служащего в рабочей зоне. Время приемлемого нахождения в контролируемой зоне в часах:

$$T = \frac{50}{E} + 2 \quad (16)$$

Производство в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20-25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м пребывание людей в рабочей зоне допускается в течение 8 часов [14].

Для защиты от электромагнитного излучения компьютера используются жидкокристаллические мониторы, поскольку его излучение значительно меньше, чем у ЭЛТ мониторов (монитор с электроннолучевой трубкой). Также монитор расположен в углу, так что бы излучение поглощалось стенами.

### ***Производственное освещение***

Важное значение для создания благоприятных условий труда имеет рациональное освещение. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явиться причиной несчастных случаев.

Различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное.

Естественное освещение характеризуется изменяющейся освещенностью на рабочих местах в течение суток года, которое обуславливается световым климатом. Поэтому данное освещение нормируется по коэффициенту естественной освещенности (КЕО) или (е)

естественного освещения.

*Коэффициент естественной освещенности* равен [16]:

$$KEO = \frac{E}{E_0} \cdot 100\% \quad (17)$$

где  $E$  – освещенность в данной точке помещения;

$E_0$  – освещенности под открытым небом.

Величина КЕО при верхнем или комбинированном естественном освещении должна быть равна 4%, а при боковом – 1,5% [16].

Искусственное освещение помогает избежать многих недостатков, характерных для естественного освещения, и обеспечить оптимальный световой режим. Оно создается светильниками и прожекторами [17].

В компьютерном классе, где проводилось исследование, используется комбинированная система освещения, то есть общее искусственное и местное освещение [18]. Такое освещение соответствует уровню освещенности, необходимому для выполнения работ в компьютерном классе.

### ***Производственные шумы***

При работе компьютера основным источником шумов является системный блок. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда.

Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот с соответствующим уровнем звука 50 дБА для помещений с компьютерами представлены в таблице 25 [19].

Таблица 25 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Уровень шума в компьютерном классе не превышает допустимых значений, так как корпус системного блока расположен в специальной нише под столом, а также материал, из которого изготовлен корпус, является звукопоглощающим. Расположенные в системном блоке вентиляторы, основные источники шума, подвергаются чистке от пыли и периодической замене.

### ***Психофизические факторы***

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 психофизические факторы условно можно разделить на физические (статические и динамические) и нервно-психические перегрузки. К нервно-психическим перегрузкам относится умственное перенапряжение, эмоциональные перегрузки, монотонность труда.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно-зрительной координации, а также нервно-эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

Поэтому при работе за компьютером рекомендуется устраивать перерывы. Регламентируемые перерывы продолжительностью 20-30 минут, являющиеся составной частью режимов труда, устанавливаются через каждые 1–2 часа после начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва.

### ***Электробезопасность***

В компьютерном классе ПК – основной источник поражения током. При поражении электрическим током различают два вида травм: местные – ожоги, электрические травмы, механические повреждения, общие – электрические удары. Электрические удары в зависимости от исхода делятся на 4 степени (1 – судорожное сокращение мышц без потери сознания; 2 – судорожное сокращение мышц с потерей сознания; 3 – нарушение сердечной деятельности или дыхания; 4 – отсутствие дыхания и кровообращения) [20].

Для защиты от попадания высокого напряжения на корпус оборудования используется заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

### 5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов рабочей зоны (операторная, площадка УКПГ)

Постоянные рабочие места установки должны соответствовать требованиям действующих федеральных санитарных правил, норм и гигиеническим нормативам.

#### *Физические факторы производственной среды*

Источниками производственного шума могут служить технологическое оборудование, инструменты или машины.

В производственном помещении и на территории предприятия допускаются такие уровни звукового давления (табл. 26) с соответствующим уровнем звука 80 дБА [19]:

Таблица 26 – Допустимые уровни звукового давления

Среднегеометрическая частота октановых полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ	103	96	91	88	85	83	81	80

Для защиты от шума пользуются ограждающими конструкциями с требуемой звукоизоляцией: звукопоглощающими конструкциями (кулисы, облицовки), звукоизолирующими кожухами на шумных агрегатах и др. В качестве средств индивидуальной защиты для органов слуха от шума и вибрации применяются наушники, вкладыши, шлемы, костюмы. Наушники понижают негативное воздействие в диапазоне от 7 до 38 дБ с частотой от 125 до 8 000 Гц.

Источниками вибрации на исследуемом производственном объекте служат насосы, технологическая установка, а также транспорт при

перемещении операторов по территории завода. В соответствии с [21] данный объект относится к категориям Ша и Шв, так как, с одной стороны, имеются работники непосредственно на установке комплексной подготовки газа с воздействием вибрации насосов и установки, а с другой стороны, имеются работники в диспетчерской, операторной и лаборатории, занимающиеся умственным трудом.

Длительное вибрационное воздействие приводит к снижению работоспособности, нарушению функций центральной нервной системы, опорно-двигательного аппарата и др. [22]. Вибрация, воздействующая на человека, не должна превышать согласно требованиям [23, 24] предельно-допустимого значения 92 дБ.

Для снижения воздействия вибрации на работников необходимо стремиться к размещению оборудования и машин с минимизацией уровней вибрации, введению ограждений и средств виброзащиты на рабочих местах, введению режимов отдыха и санитарно-профилактическими мероприятиям.

### ***Химические факторы производственной среды***

Основные характеристики взрыво-, пожароопасных и токсических свойств сырья, материалов и продуктов установки комплексной подготовки газа представлены в таблице 27 [25].



Таблица 27 – Характеристика свойств сырья, материалов и продуктов

Наименование вещества	Класс опасности (ГОСТ 12.1.007-76)	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Температура, °С			ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений ГОСТ 12.1.005-88, мг/м³	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			вспышки	воспламенения	самовоспламенения		
Конденсат газовый	4	жидкость	>0	-	>380	10	Сильное отравляющее воздействие нервнопаралитического действия. Углеводороды, составляющие основную часть конденсата, обладают токсическими свойствами. Действие на организм ослабляется малой их растворимостью в крови, опасные концентрации в крови создаются при высокой концентрации углеводородов в воздухе. При легких отравлениях после начального возбуждения начинается головная боль, слабость, боли в области сердца. При тяжелых отравлениях потеря сознания, судороги, желтая окраска белковой оболочки глаза, ослабление дыхания. Попадание конденсата на кожу может вызвать ее воспаление, а при длительном контакте дерматиты.
Природный газ	4	газ	-	-	535	300	Углеводороды поступают в организм человека главным образом через дыхательные пути при отравлении парами углеводородов. Вначале наблюдается период возбуждения, характеризующийся беспричинной веселостью, затем наступает головная боль, сонливость, головокружение, тошнота. При тяжелых отравлениях наступает потеря сознания, судороги, ослабление дыхания, появляется желтая окраска белковой оболочки глаз
Топливный газ	4	газ	-	-	525	100	Головная боль, утомляемость, подавленное настроение
Метанол	2	жидкость	6-8	36	464	5	Сильнодействующий нервный и сосудистый яд. Обладает характерным спиртовым запахом. Попадание внутрь организма 5-10 мл вызывает слепоту, а прием внутрь 30 мл и более вызывает смерть. Аллергическими свойствами не обладает. Пары метанола вызывают слабое раздражение слизистых оболочек глаз.
Масло турбинное	3	жидкость вязкая	463	-	673	5	Пары токсичны, масло вызывает заболевание кожи

Для исключения возможности возникновения отравлений или удушья персонал:

- соблюдает нормы технологического режима;
- соблюдает требования промышленной безопасности при подготовке и проведению предупредительного и планового ремонта оборудования и т.д.

### ***Подвижные части оборудования и движущиеся машины***

Подвижными частями оборудования являются:

- подвижные столы и стойки станков;
- ходовые винты;
- передачи (ременные, цепные и др.) расположенные вне корпусов станков и др.

Источниками движущихся частей также являются транспортные устройства.

Основной величиной характеризующей опасность подвижных частей является скорость их перемещения. Согласно [26] опасной скоростью перемещения подвижных частей оборудования, способных травмировать ударом, является скорость более 0,15 м/с.

Движущиеся части оборудования представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов и др., которые могут привести к потере трудоспособности.

Персонал соблюдает особую осторожность при работе с таким оборудованием. Строго следит за тем, чтобы скорость и направление вращения рабочих органов соответствовали указанным в руководстве по каждой машине. После пуска машины на холостом ходу персонал убеждается в правильном монтаже оборудования (отсутствие вибраций, стуков и шумов). Также проверяет наличие защитных кожухов на

движущихся и вращающихся частях машин и механизмов, проводит проверку пусковых и тормозных устройств, состояния оборудования и своевременное устранение дефектов.

### *Средства защиты*

Процессы, протекающие на установке, связаны с подготовкой газа и относятся к процессам с вредными условиями для здоровья обслуживающего персонала.

Для предотвращения несчастных случаев, заболеваний и отравлений, связанных с производством, весь обслуживающий персонал имеет следующие средства защиты:

- защитная рабочая одежда и обувь;
- защитные очки и маски;
- диэлектрические перчатки и электроизмерительные клещи;
- предохранительный пояс и канат;
- средства для защиты дыхательных органов (фильтрующие противогазы марки БКФ).

Кроме того, на установке есть шланговые противогазы с комплектом масок, спасательными поясами и веревкой, медицинской аптечкой с необходимым набором медикаментов для оказания первой помощи.

В целях коллективной защиты работающих от воздействия опасных и вредных производственных факторов на установке имеется комплексная автоматизация процесса с выносом на щит всех параметров, характеризующих безопасную работу оборудования. Все объекты предприятия оснащаются автоматической системой звукового оповещения в случае возникновения внештатных ситуаций.

Также на предприятии, кроме охраны жизни и здоровья персонала, проводятся мероприятия по охране окружающей среды. Так, например, на

каждом объекте проводится контроль содержания в воздухе паров вредных веществ и их соответствия ПДК. Проводятся мероприятия по предупреждению ситуаций, которые могут повлечь за собой выбросы вредных веществ в атмосферу [27].

## **5.2 Экологическая безопасность**

Газоперерабатывающее производство, так или иначе, отрицательно влияет на окружающую среду путем сброса газовых, жидких или твердых отходов.

Установка располагается на открытой площадке, где основными источниками атмосферных выбросов являются дыхательные клапаны резервуаров и ёмкостей хранения газового конденсата и метанола, факельные установки, автоматизированная система налива стабильного газового конденсата в автоцистерны (оксид и диоксид азота, сероводород, оксид углерода, предельные углеводороды  $C_1$ - $C_6$ , метанол).

Жидким отходом установки является отработанное трансформаторное масло. Его отгружают в бочки и направляют на переработку для его регенерации. К твердым отходам относятся люминесцентные лампы и макулатура. Токсичный люминофор из ламп – страшный яд, не имеющий ни вкуса, ни запаха, но легко распространяющийся в воздухе, поражая центральную нервную систему человека, печень, почки, желудочно-кишечный тракт. А попав в воду, люминофор превращается в еще более опасное соединение – метилртуть. Поэтому отработавшие лампы отправляются в специальные пункты утилизации.

Основными средствами защиты природной среды от вредных воздействий является строгое соблюдение технологических регламентов,

технологической дисциплины, герметизация оборудования, применение эффективных уплотнений для насосов и фланцевых соединений [27].

Контролю также подвергаются все места временного хранения отходов, образующихся на предприятии, и отходов потребления, с учётом их физико-химических свойств. По отношению к отходам, которые хранятся на территории предприятия, проводится визуальный контроль за соблюдением правил хранения и своевременным вывозом, который осуществляется в соответствии с инструкцией «Порядок сбора, хранения и транспортировки отходов», разработанный на предприятии [28].

Для борьбы с загрязнением атмосферы на установке применяют следующие меры:

- газы, которые не могут быть использованы в дальнейшем для переработки, подаются на факельную установку;
- герметичные уплотнения насосных агрегатов, полностью исключающие утечки жидкости при работе насосов;
- использование запорной арматуры с герметичностью затвора по классу А;
- совершенствование производства и создания новых технологий;
- сооружение линий аварийных сбросов давления в факельную линию.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Одним из важнейших факторов в безопасности жизнедеятельности людей является подготовленность к чрезвычайным ситуациям. Чрезвычайная ситуация – это совокупность таких обстоятельств, которые сопровождаются разрушениями зданий, сооружений, материальных ценностей, поражения и

гибелью людей. К основным чрезвычайным ситуациям, возникающим на производстве, относятся производственные аварии [29].

### ***Производственная авария***

Под производственной аварией понимают внезапную остановку работы или нарушение процесса производства, приводящую к повреждению или уничтожению материальных ценностей. Аварии возникают в результате стихийного бедствия, а также нарушения технологического регламента, правил эксплуатации машин, оборудования и установленных мер безопасности. На установке процесс ведется в аппаратах, работающих под давлением, и в случае наличия малейшей коррозии оборудования и трубопроводов, может привести к их разгерметизации. Разгерметизация оборудования также происходит из-за неправильного ведения процесса, человеческого фактора, скопления газов и т.д. В соответствии с [30] поражающими факторами такого производства могут быть как физические (ударная волна, тепловое излучение и др.), так и химические факторы (токсическое воздействие вредных веществ).

Последствия таких техногенных аварий, как правило, оцениваются различными методами, заключающимися в определении размеров зоны поражения, степени поражения людей или нанесенного ущерба [31].

При взрыве или разгерметизации оборудования происходит утечка жидких промежуточных или конечных продуктов установки с возможностью их попадания в атмосферу или гидросферу. Это приводит к распространению токсичных веществ по воздуху в близлежащие населенные пункты и становится причиной распространения респираторных и других заболеваний.

Оперативная часть плана ликвидации возможных аварий предусматривает способы оповещения об аварии, выхода людей из опасных зон, включение систем пожаротушения [32]. В соответствии с требованиями

пожарной безопасности и охраны труда, проводится регулярный инструктаж и проверка знаний по технике безопасности на рабочем месте.

На производственной установке имеются первичные и стационарные средства пожаротушения, а также пожарная сигнализация. Согласно технологическому регламенту установки предусматриваются следующие средства пожаротушения:

- первичные средства пожаротушения (огнетушители – пенные ОХП-10, корюшковые ОПУ-10, ОПС-10г, углекислотные ОУ-5, ОУ-8; кошмы, ящики с песком, лопаты и т.д.);
- стационарная система пенотушения открытой насосной;
- водяная оросительная система колонных аппаратов;
- лафетные стволы на лафетных вышках;
- пожарные краны в помещении компрессорной;
- система паротушения для печей.

#### **5.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности**

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ. Трудовой кодекс РФ предусматривает обеспечение права каждого работника на справедливые условия труда, в том числе на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, права на отдых, включая ограничение рабочего времени, предоставление ежедневного отдыха, выходных и нерабочих праздничных дней, оплачиваемого ежегодного отпуска [33, 34].

Согласно [35], проводятся обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры

(обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Согласно [36] используются средства индивидуальной защиты. Во избежание несчастных случаев, проводится обучение и проверяются знания работников.



## Заключение

В результате выполнения дипломной была разработана система автоматического управления установки блока низкотемпературной сепарации (УКПГ). В ходе выполнения ВКР был изучен технологический процесс, который обеспечивает разделение сырого газа (газоконденсатной смеси) на осушенный газ и нестабильный конденсат. Были разработаны функциональная и структурная схемы НТС, которые позволяют определить количество каналов передачи сигналов и данных, а также состав необходимого оборудования. Подобранны современное оборудование, которое имеет высокую точность измерения и способно работать с необходимыми технологическими параметрами НТС, а именно полевые датчики и контроллер Siemens SIMATIC S7300. Для работы разработанного проекта используется современная SCADA-система, TIA Portal.

В данной выпускной квалификационной работе была разработана схема внешних проводок, которая позволяет понять систему передачи сигналов от полевых устройств на щит КИПиА и АРМ оператора. При возникновении ошибок, существует возможность их легкого устранения. Для сбора данных и управления технологическим оборудованием был разработан алгоритм поддержания уровня газожидкостной смеси в трехступенчатом сепараторе. При разработки САУ были детально проработаны структурная и функциональная схемы, соответствующая ГОСТу и стандарту ANSI/ISA, схемы. В заключении разработана мнемосхема и дерево экранных форм.

В итоге, спроектированная САУ НТС удовлетворяет текущим требованиям к системе автоматизации, а также имеет высокую гибкость. SCADA-пакет, используемый на всех уровнях автоматизации, предоставляет возможность заказчикам сокращать затраты на эксплуатацию систем и обучение персонала.

## Список используемых источников

1. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
2. Бекиров Т.М, Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата: ООО "Недра-Бизнесцентр" 1999 - 596 с.
3. Джесси Рассел, Рональд Кон. Установка комплексной подготовки газа. –Москва, 2013. 166с
4. А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. Основы нефтегазового дела. ДизайнПолиграфСервис Уфа, 2005
5. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 38 с
6. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. - Москва: Изд-во стандартов, 1985. 18 с.
7. ANSI/ISA-5.1-2009. Instrumentation Symbols and Identification, ISA, 2009
8. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.
9. Siemens SIMATIC S7–1500. Практическое руководство. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm>
10. Элси – ТМ – Россия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elesy.ru/products/products/plc1.aspx>.
11. МСТУ Метран – 274. Практическое руководство и технические характеристики. [Электронный ресурс]. URL: [http://kostrudstroj.kz/index.php?route=product/product&product\\_id=4271](http://kostrudstroj.kz/index.php?route=product/product&product_id=4271)

12. Метран – 288 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://pribor-sk.ru/katalog\\_oborudovaniya/temperatura/preobrazovateli\\_temperature\\_metran/288/](http://pribor-sk.ru/katalog_oborudovaniya/temperatura/preobrazovateli_temperature_metran/288/), свободный.
13. Rossemount 3300. Практическое руководство. [Электронный ресурс]. URL: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/rosemount/level/guided-wave-radar/3300-series/pages/index.aspx>
14. ОВЕН ПДУ И. [Электронный ресурс]. <http://www.indelta.ru/kip/datchiki-urovnya/oven-du/poplavkovye-datchiki-urovnya-s-analogovym-vyhodnym-signalom-4-20-ma-pdu-i-mvozzu.html>
15. ОВЕН САУ М6. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.owen.ru/catalog/signalizator\\_urovnya\\_zhidkosti\\_trehkanal\\_nij\\_owen\\_sau\\_m6/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/signalizator_urovnya_zhidkosti_trehkanal_nij_owen_sau_m6/opisanie)
16. СДВ – SMART. [Электронный ресурс]. [http://www.zaovip.ru/products/smart\\_exd?utm\\_source=yandex\\_direct&utm\\_campaign=svd\\_smart&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=5744411707&utm\\_term=%D0%A1%D0%94%D0%92%20Smart](http://www.zaovip.ru/products/smart_exd?utm_source=yandex_direct&utm_campaign=svd_smart&utm_medium=cpc&utm_content=5744411707&utm_term=%D0%A1%D0%94%D0%92%20Smart)
17. Rosemount 3051 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ruru/brands/rosemount/pressure/pressure-transmitters/3051-pressure-transmitters/pages/index.aspx>, свободный.
18. Клапан VFM2 [Электронный ресурс]. <http://docplayer.ru/36518069-Klapan-reguliruyushchiy-sedelnyy-prohodnoy-vfm2.html>, свободный.
19. Электропривод AMV 655 [Электронный ресурс]. <http://www.uwr.ru/equipment/reguliruyushchie-klapany-i-elektroprivody/112/>
20. Насосы нефтяные консольные типа ХМ [Электронный ресурс]. [http://www.pumps-seals.ru/main/pumps\\_marks/view/PMID\\_\\_42](http://www.pumps-seals.ru/main/pumps_marks/view/PMID__42)
21. Насосы нефтяные консольные типа КМ [Электронный ресурс]. <http://www.uugm.ru/node/106#03>, свободный.
22. Асинхронные двигатели серии АИР [Электронный ресурс]. <http://electronpo.ru/production>

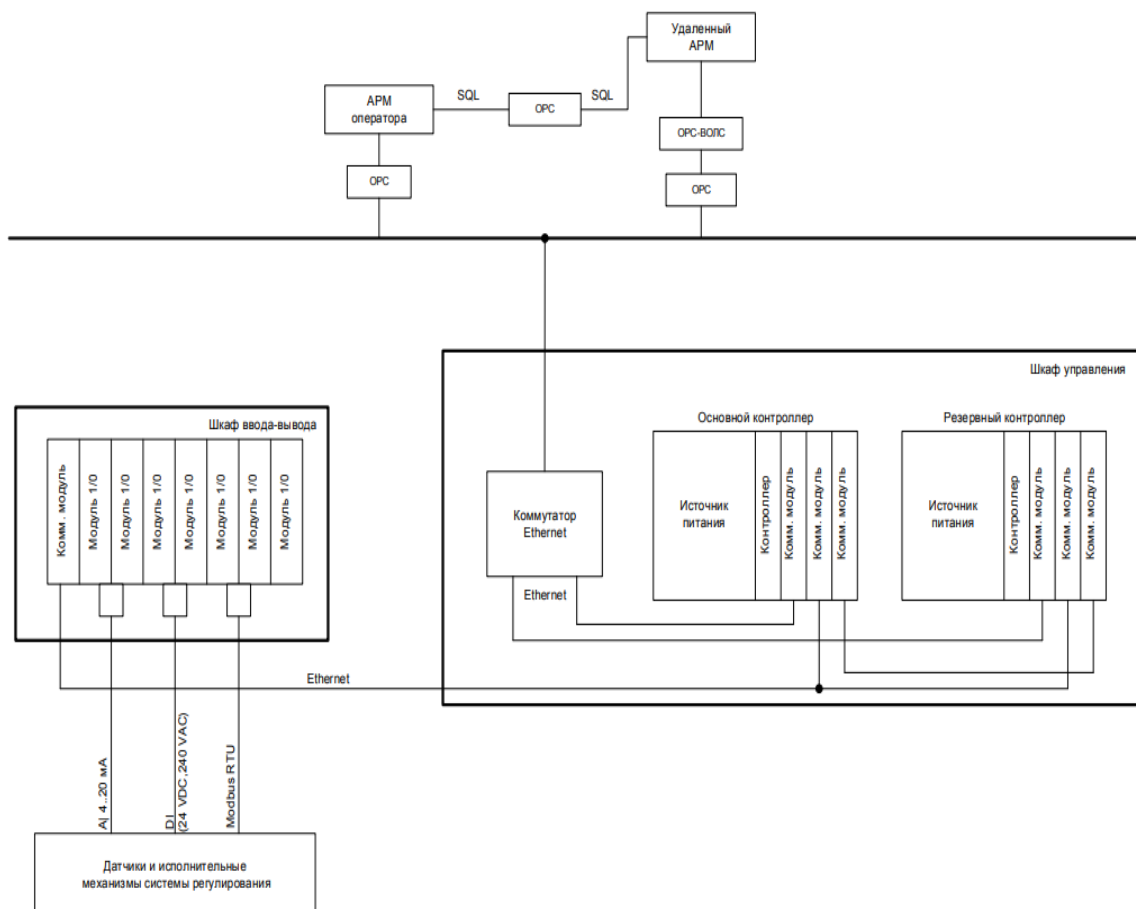
23. Асинхронные двигатели Siemens серии 1LA7 [Электронный ресурс]. <http://tehprivod.ru/katalog/elektrodvigateli/elektrodvigateli-siemens/elektrodvigateli-siemens-tipa-1la7.html>
24. Преобразователи частоты производства Siemens серии Micromaster 420 [Электронный ресурс]. [http://www.comsol.ru/drive/catalogs/si/2\\_micromaster\\_420.pdf](http://www.comsol.ru/drive/catalogs/si/2_micromaster_420.pdf)
25. Преобразователи частоты производства HYUNDAI серии N700E-110HF [Электронный ресурс]. [http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/n700e\\_110hf.html](http://xn--80aqahnfuib9b.xn--p1ai/n700e_110hf.html)
26. КВВГ. Описание и технические характеристики. [Электронный ресурс]. URL: <https://cable.ru/cable/group-kvvg.php>
27. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001. – 247 с.
28. Totally Integrated Automation Portal [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/industrysoftware/automation-software/tia-portal.html>, свободный.
29. ГОСТ 12.1.003 – 74 «ССБТ. Основные и вредные производственные факторы. Классификация»
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-93 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий на территориях жилой застройки»
31. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
32. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификации условий труда»
33. Методика оценки условий труда при аттестации рабочих мест по условиям труда. [Электронный ресурс]. <http://busel.org/texts/cat5kh/id5xweyuc.htm>
34. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

35. ГОСТ 12.1.012-78 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности»
36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
37. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Изд-во Юрайт, 2013. – 671с.
38. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
39. ПБО9-170-97 «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»
40. СНИП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания»
41. ГОСТ 14254-96(МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. - Москва: Изд-во стандартов, 1996.
42. ППБО 116-85 «Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности»
43. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. 399 с.



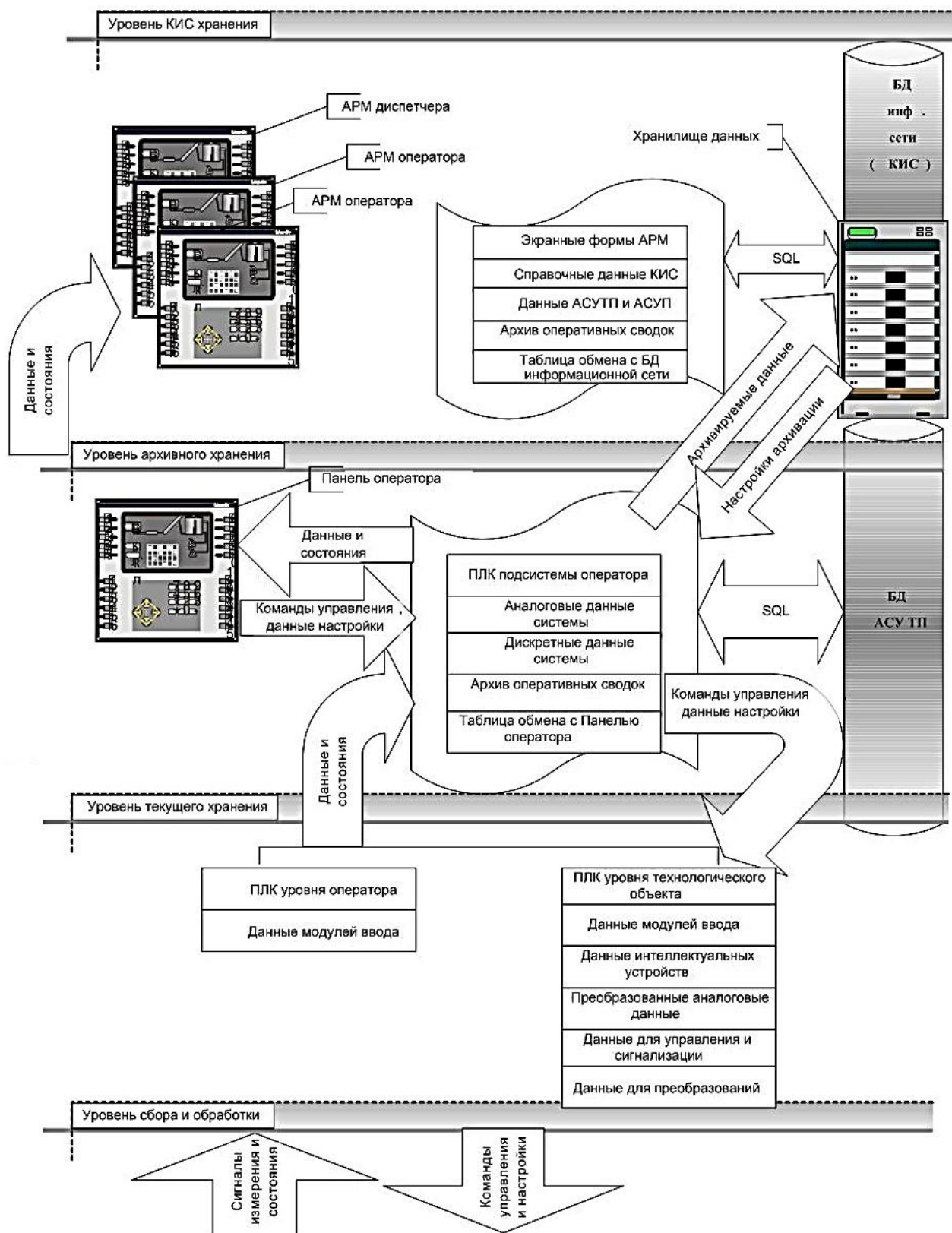
## Приложение Б

### Структурная схема автоматизации



## Приложение В

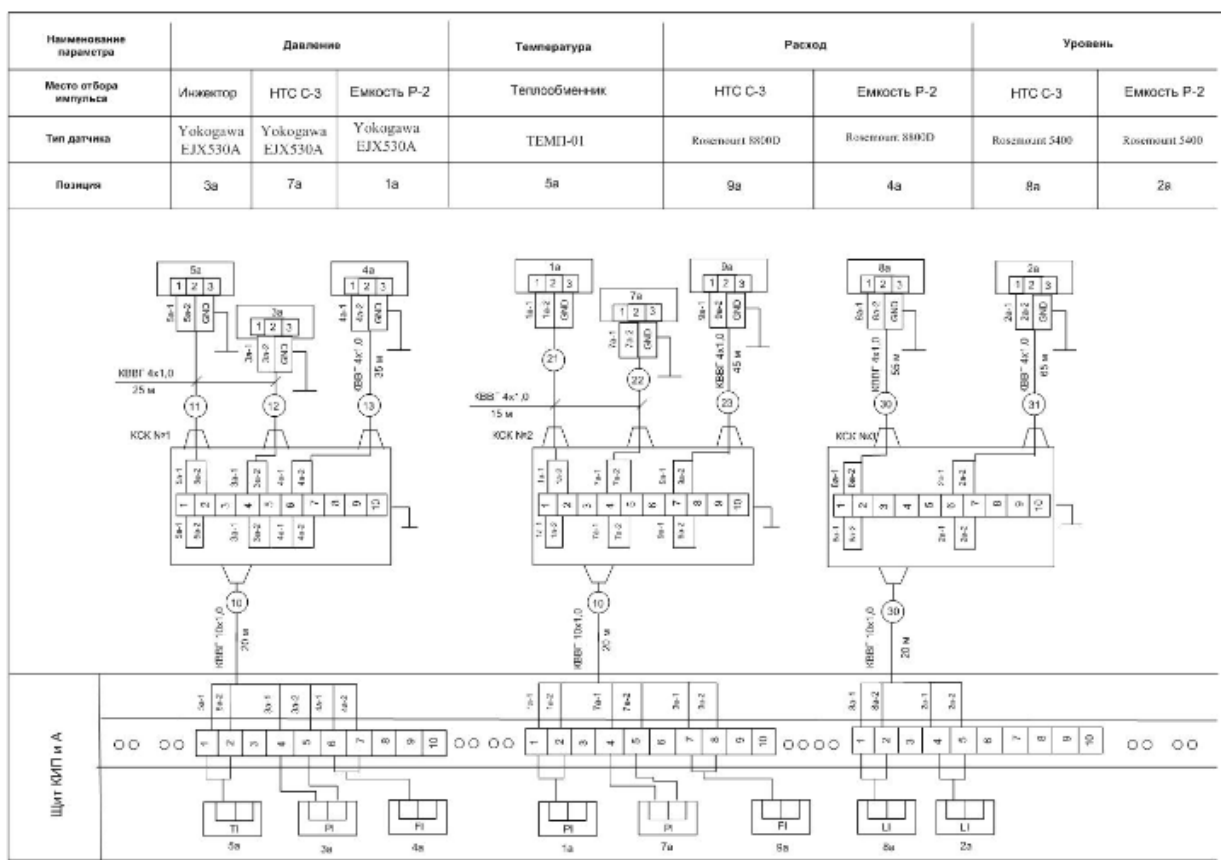
### Схема информационных потоков





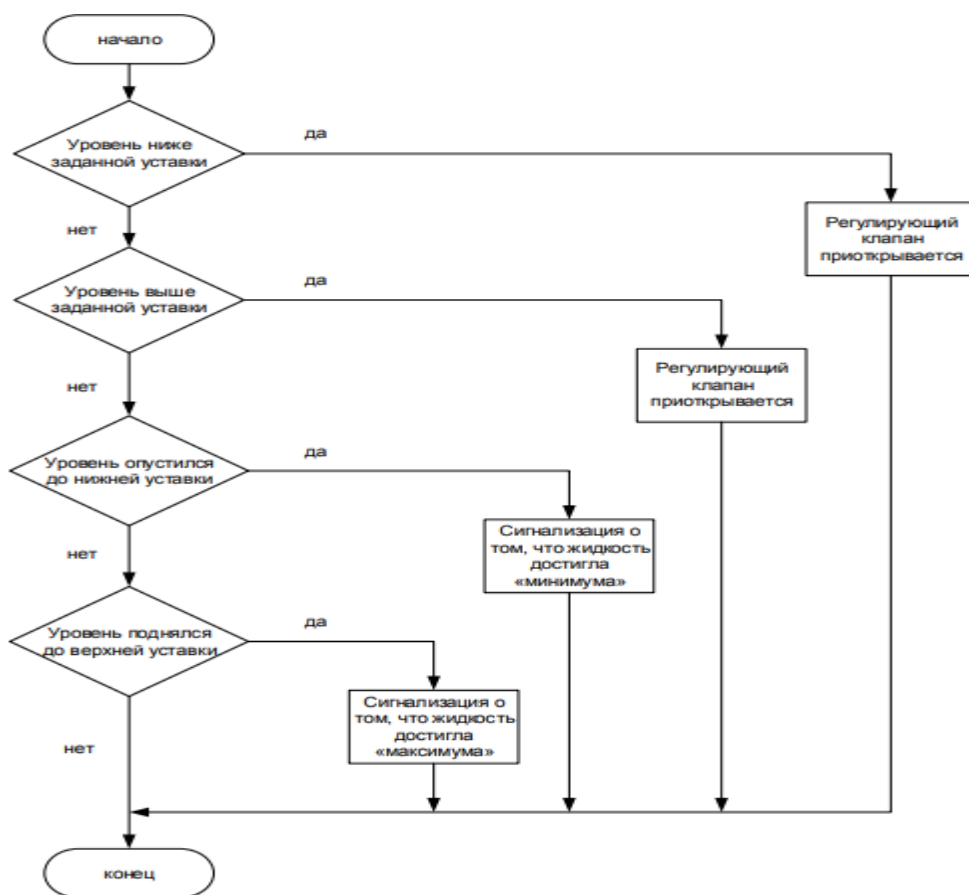
## Приложение Г

### Схема внешних проводок



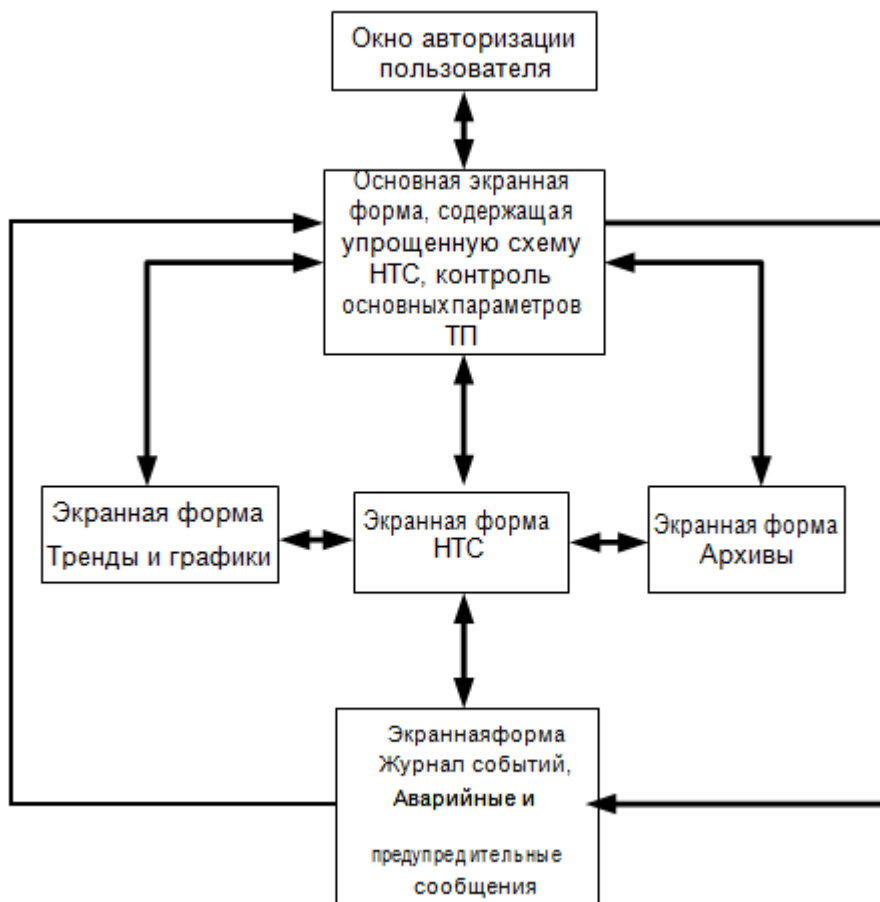
## Приложение Д

### Алгоритм поддержания уровня газожидкостной смеси



## Приложение Е

### Дерево экранных форм



## Приложение Ж

### Экранная форма АС

